



TUGAS AKHIR - TL141584

**PENGARUH WAKTU TAHAN *POST-HEAT*
DAN *COOLING RATE* TERHADAP STRUKTUR
MIKRO DAN PERILAKU KETAHANAN KOROSI
BAJA AISI 1006 PADA PROSES COPPERIZING**

IFTITAH TATAPANGARSA
NRP. 2712100105

Dosen Pembimbing:
Sutarsis, S.T., M.Sc.
Alvian Toto Wibisono, ST., MT.

JURUSAN TEKNIK MATERIAL & METALURGI
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2016

(Halaman ini sengaja dikosongkan)



FINAL PROJECT - TL141584

**EFFECTS OF POST-HEAT HOLDING TIME AND
COOLING RATE ON MICROSTRUCTURE AND
CORROSION RESISTENT BEHAVIOUR OF AISI
1006 STEEL IN COPPERIZING PROCESS**

IFTITAH TATAPANGARSA
NRP. 2712 100 105

Advisor:
Sutarsis, S.T., M.Sc.
Alvian Toto Wibisono, ST., MT.

MATERIALS & METALLURGICAL ENGINEERING
FACULTY OF INDUSTRIAL TECHNOLOGIES
SEPULUH NOPEMBER INSTITUTE OF TECHNOLOGY
SURABAYA
2016

(This page left intentionally blank)

**PENGARUH WAKTU TAHAN *POST-HEAT* DAN
COOLING RATE TERHADAP STRUKTUR MIKRO DAN
PERILAKU KETAHANAN KOROSI BAJA AISI 1006
PADA PROSES *COPPERIZING*
TUGAS AKHIR**

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
Pada
Bidang Studi Metalurgi Manufaktur
Program Studi S-1 Jurusan Teknik Material dan Metalurgi
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:
IFTITAH TATAPANGARSA
NRP. 2712 100 105

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir:

1. Sutarsis, S.T., M.Sc (Pembimbing I)
2. Alvian Toto Wibisono, ST., MT. (Pembimbing II)



PT PENGARUH WAKTU TAHAN POST-CURE DAN
CYCLOXIMIDE WAVELENGTH/STRENGTH MIKRO DAN
PERILAKU KEMAMATAN KOROSI PADA 1000
WATT PROSES COPPER
TUGAS AKHIR

Dibuatkan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Menempuh Gelar Sarjana Teknik
Pada
Bidang Teknik Metalurgi Industri
Fakultas Teknik
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

Oleh
HETIAN TATANGKARA
NRP. 171210012

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir:
1. Nuzul N.T.M. (Penyimbing I)
2. Nuzul N.T.M. (Penyimbing II)

di KEMBARA
Juli 2016

PENGARUH WAKTU *POST-HEAT* DAN *COOLING RATE* TERHADAP PERILAKU KETAHANAN KOROSI BAJA AISI 1006 PADA PROSES COPPERIZING

Nama : Iftitah Tatapangarsa
NRP : 2712100105
Jurusan : Teknik Material dan Metalurgi FTI-ITS
Pembimbing : Sutarsis, S.T.,M.Sc.
Co-Pembimbing : Alvian Toto Wibisono, ST., MT.

ABSTRAK

Tembaga merupakan salah satu unsur paduan yang ditambahkan pada low carbon steel pambahan tembaga dilakukan untuk meningkatkan ketahanan terhadap Atmosperic corrosion dengan membentuk lapisan oksida Cu_2O dan $\text{Cu}(\text{OH})_2$, dalam penelitian ini dilakukan pepaduan tembaga dan baja AISI 1006 dengan mencelupkan baja AISI 1006 yang sebelumnya telah di pre-heat pada temperatur 900°C kedalam tembaga cair dengan waktu tahan variasi tahan 5, 10,15 dan 20 menit untuk memberikan waktu difusi, dilanjutkan dengan post-heat pada temperatur 1100°C di variasikan pendinginannya yaitu dengan metode Normalizing, Quenching pada media air dan Annealing. Kemudian dilakukan pengujian komposisi kimia dengan EOS, pengujian strukur mikro/makro, pengujian fasa dengan XRD dan pengujian laju korosi dengan pengujian Polarization Tafel. Didapat muncul nya struktur acicular ferrite, Widmanstatten Ferrite,dan Granular Ferrite pada pendinginan Quenching, muncul Widmanstatten Ferrite dan Polygonal Ferrite pada pendinginan Normalizing, dan muncul Polygonal Ferrite pada pendinginan Annealing. Dimana Proses copperizing menurunkan diameter butir dan post-heat menambah diameter butir.Terjadi penurunan nilai Corrosion rate untuk baja AISI 1006, penambahan waktu post-heat semakin menurunkan nilai corrosion rate, dengan nilai corrosion rate rendah 6.489 mpy pada Baja AISI 1006 copperizing dengan post-heat 20 menit pendinginan quenching.

Kata Kunci : copperizing, AISI 1006, Corrosion, Copper, diffusion, microstructure, Atmospheric Corrosion, HSLA, Weathering steel, Hardening, Accicular Ferrite

EFFECTS OF POST-HEAT HOLDING TIME AND COOLING RATE ON MICROSTRUCTURE AND CORROSION RESISTENT BEHAVIOUR OF AISI 1006 STEEL IN COPPERIZING PROCESS

Name : Iftitah Tatapangarsa
NRP : 2712100105
Department : Teknik Material dan Metalurgi FTI-ITS
Advisor : Sutarsis, S.T.,M.Sc.
Co-Advisor : Alvian Toto Wibisono, ST., MT.

ABSTRACT

Copper is one of the alloying elements that are added to the low carbon steel pambahan copper to improve the reliability of the atmosperic corrosion by forming a layer of oxide Cu_2O and $\text{Cu}(\text{OH})_2$, in this study the integration of copper and steel AISI 1006 by dipping the steel AISI 1006 previously has been in pre-heat at the temperature of 900°C into the molten copper holding time variation resistant 5, 10,15 and 20 minutes to give the diffusion time, followed by post-heat at a temperature of 1100°C in varying cooling is by the method Normalizing, Quenching in water and Annealing. Then testing the chemical composition with EOS, the test structure of micro / macro, testing and testing phases by XRD corrosion rate with Tafel Polarization testing. Her structure appears obtained acicular ferrite, Widmanstatten Ferrite and Granular Ferrite on cooling Quenching, appeared Widmanstatten Polygonal Ferrite and Ferrite on cooling Normalizing, and appeared Polygonal Ferrite on cooling Annealing. Where copperizing process lowers grain diameter and post-heat add grain Diameter impairment Corrosion rate on steel AISI 1006, the addition of post-heat time is increasingly reducing the corrosion rate, the lower value of corrosion rate 6.489 mpy on AISI 1006 Steel copperizing with post- 20 minutes quenching.

Keyword : *copperizing, AISI 1006, Corrosion, Copper, diffusion, microstructure, Atmospheric Corrosion, HSLA, Weathering steel, Hardening, Accicular Ferrite*

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
LEMBAR PENGESAHAN.....	v
ABSTRAK.....	vii
ABSTRACT.....	ix
KATA PENGANTAR.....	xi
DAFTAR ISI.....	xiii
DAFTAR GAMBAR.....	xvii
DAFTAR TABEL.....	xxi
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Perumusan Masalah.....	2
1.3 Batasan Masalah.....	3
1.4 Tujuan Penelitian.....	3
1.5 Manfaat Penelitian.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Proses Pemaduan Pada Logam.....	5
2.1.1 Mechanical Alloying.....	5
2.1.2 Conventional Casting.....	7
2.2 Pengaruh Proses Pemaduan Terhadap Properti Material ..	10
2.2.1 Compound (<i>Senyawa</i>).....	10
2.2.2 <i>Solid Solution</i> (Larutan Padat).....	11
2.2.3 <i>Mixture</i> (Campuran).....	12
2.3 Steel.....	12
2.3.1 Carbon Steel.....	12
2.3.2 Alloy Steel.....	14
2.3.3 Steel Containing Copper.....	16
2.3.4 Baja AISI 1006.....	19
2.3.5 HSLA (High-Strength Low Alloy).....	20
2.4 Mikro Metallography and Microstructures of Weldments	22
2.5 Interaction between Fe-Cu.....	24
2.5.1 Diffusion.....	24
2.5.2 Diagram Keseimbangan Fe-Cu.....	27
2.6 Korosi.....	27

2.6.1 Konsep Dasar Korosi.....	27
2.6.2 Bentuk Korosi.....	29
2.6.3 Beda Potensial Logam	33
2.6.4 Standart Expressions for Corrosion Rate	34
2.7 Penelitian Sebelumnya	35
2.7.1 The Interaction of Molten Copper into Solid Iron	35
2.7.2 Effect of Copper on the Corrosion Properties of Low-Alloy Steel in an Acid Chloride.....	38
2.7.3 Effect of Copper Addition on the Active Corrosion Behavior of Hyper Duplex Stainless Steels in Sulfuric Acid	40
2.7.4 The Influence of Copper and Chromium on The Semiconducting Behaviour of Passive Films Formed on Weathering Steels.....	41
2.7.5 Effects Of Shortimmersing Times And Cooling Rates Of Copperizing Process On The Evolution Microstructure And Copper Behavior In Dead Mild Steel.....	42
BAB III METODOLOGI	
3.1 Alat dan Bahan Penelitian	45
3.1.1 Bahan-bahan Penelitian	45
3.1.2 Alat-alat Penelitian	45
3.2 Diagram Alir	47
3.3 Prosedur Penelitian.....	47
3.3.1 Preparasi Sampel	47
3.3.2 Preparasi Tembaga	48
3.3.3 Preparasi Larutan Elektrolit	48
3.3.4 Peleburan Tembaga	48
3.3.5 <i>Pre Heat</i> Spesimen	48
3.3.6 Proses <i>Copperizing</i>	49
3.3.7 <i>Post Heat</i> Spesimen.....	49
3.3.8 Pendinginan Normalizing	51
3.3.9 Pendinginan Quenching.....	51
3.3.10 Pendinginan Annealing.....	51
3.4 Pengujian.....	51
3.4.1 Pengujian Fasa Dengan XRD	52

3.4.2 Pengujian Komposisi Dengan EOS	52
3.4.3 Pengujian Struktur Mikro	52
3.4.4 Pengujian Struktur Makro.....	52
3.4.5 Pengujian Polarisasi Tafel	52
3.5 Rancangan Tabel Pengambilan Data Penelitian	53
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	
4.1 Hasil Proses Copperizing	57
4.1.1 Analisis Permukaan Spesimen <i>Copperizing</i> variasi <i>post-heat</i> dengan pendinginan <i>normalizing</i>	57
4.1.2 Analisis Permukaan Spesimen <i>Copperizing</i> variasi <i>post-heat</i> dengan pendinginan <i>Quenching</i>	58
4.1.3 Analisis Permukaan Spesimen <i>Copperizing</i> variasi <i>post-heat</i> dengan pendinginan <i>Annealing</i>	60
4.2. Analisis Komposisi Unsur	62
4.3 Analisis Pengujian XRD.....	63
4.3.1 Analisis Spesimen Kontrol	63
4.3.2 Analisis Spesimen <i>Copperizing</i> variasi <i>post-heat</i> dengan pendinginan <i>normalizing</i>	64
4.3.3 Analisis Spesimen <i>Copperizing</i> variasi <i>post-heat</i> dengan pendinginan <i>quenching</i>	66
4.3.4 Analisis Spesimen <i>Copperizing</i> variasi <i>post-heat</i> dengan pendinginan <i>Annealing</i>	68
4.3.5 Analisis Produk Korosi Baja AISI 1006 <i>Copperizing</i> pada larutan elektrolit pH 4 (6.25×10^{-5} M H_2SO_4) mengandung 200 ppm Cl^- (5.5×10^{-3} M NaCl)	70
4.4 Analisis Struktur Mikro	71
4.4.1 Analisis Struktur Mikro Baja AISI 1006 <i>Copperizing</i> variasi <i>post-heat</i> pendinginan <i>normalizing</i>	71
4.4.2 Analisis Struktur Mikro Baja AISI 1006 <i>Copperizing</i> variasi <i>post-heat</i> pendinginan <i>quenching</i>	75
4.4.3 Analisis Struktur Mikro Baja AISI 1006 <i>Copperizing</i> variasi <i>post-heat</i> pendinginan <i>annealing</i>	78
4.5 Analisis Polarisasi	82
4.5.1 Analisis Polarisasi Baja AISI 1006 <i>Copperizing</i> variasi <i>post-heat</i> pendinginan <i>normalizing</i>	83

4.5.2 Analisis Polarisasi Baja AISI 1006 <i>Copperizing</i> variasi <i>post-heat</i> pendinginan <i>quenching</i>	85
4.5.3 Analisis Polarisasi Baja AISI 1006 <i>Copperizing</i> variasi <i>post-heat</i> pendinginan <i>Annealing</i>	88
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	
5.1 Kesimpulan	93
5.2 Saran	93
DAFTAR PUSTAKA	xxiii

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Peralatan dan skema proses <i>Milling</i>	5
Gambar 2. 2 Tumbukan antara dua <i>mill balls</i>	6
Gambar 2. 3 Ilustrasi produk <i>Mechanical Alloying</i>	7
Gambar 2. 4 Peralatan <i>Casting</i>	8
Gambar 2. 5 Proses pembekuan baja paduan metode <i>casting</i>	9
Gambar 2. 6 Skema <i>solid solution</i> (a) <i>substitutional random</i> (b) <i>substitutional ordered</i> (c) <i>interstitial random</i> (d) <i>solute clusters</i> dalam <i>solid solution</i>	12
Gambar 2. 7 Fase pearlite terdiri cementite (putih) dan ferrite (hitam).	12
Gambar 2. 8 Diagram fasa Fe-Fe ₃ C.....	14
Gambar 2. 9(a) Penstabil Austenite, (b) Penstabil Ferrite.....	15
Gambar 2. 10 <i>Natural copper</i> dan Struktur Kristal FCC	16
Gambar 2. 11 Diagram fasa besi-silicon (i), Diagram fasa besi-tembaga	17
Gambar 2. 12 Kecepatan korosi logam murni dan eksperimen paduan saat <i>immersion test</i> dan <i>corrosion current density</i> (I_{corr}) melalui pengujian <i>potentiodynamic polarization</i>	18
Gambar 2. 13 SEM Mikrografi setelah pengujian Polarization (a) 0wt% Cu (b) 0,2 wt% Cu (c) 0,35 wt% Cu	18
Gambar 2. 14 Perubahan kekerasan pada grain ferrit di pada presipitasi Cu.....	19
Gambar 2. 15 Continuous-cooling-transformation diagram for the low-carbon (Thompson, 1990)	22
Gambar 2. 16 Strukturmikro <i>Grain-boundary</i> ferrite yang sebelumnya merupakan Austenite menggunakan etsa nital 2%, perbesaran 500x	23
Gambar 2. 17 Strukturmikro daerah fusion terdiri dari polygonal ferrite dalam acicular ferrite kasar menggunakan etsa natal 2%, perbesaran 500x	23
Gambar 2. 18 Strukturmikro daerah fusion dengan Widmanstatten ferrite berasal dari Gran Boundary Ferrite menggunakan nital 2%, perbesaran 500x	24

Gambar 2. 19 Skema mekanisme (a) difusi kekosongan (b) difusi intersisial	24
Gambar 2. 20 Skema Diagram fasa Fe-Cu.....	27
Gambar 2. 21 Skema reaksi anoda dan katoda dalam sel elektrolit	29
Gambar 2. 22 <i>Uniform corrosion</i> pada <i>weathering steel</i>	30
Gambar 2. 23 Cariasi <i>pitting corrosion</i>	31
Gambar 2. 24 <i>Crave Corossion</i>	31
Gambar 2. 25 <i>Errosion corrosion Crave Corossion</i>	32
Gambar 2. 26 <i>Stress-Corrosion Cracking</i>	33
Gambar 2. 27 Tes reaksi antar leburan paduan Cu-Ag di baja silinder.	36
Gambar 2. 28 Skema interaksi antara logam cair dan logam padat	37
Gambar 2. 29 proses yang terjadi pada cairan tembaga dan besi padat.....	37
Gambar 2. 30 Pengujian potentiodynamic polarization test	39
Gambar 2. 31 Proses korosi yang terjadi di permukaan baja dengan pengaruh tembaga.	40
Gambar 2. 32 Kurva Potentiodynamic polarization <i>Duplex Stainless steels</i> pada Larutan H_2SO_4	41
Gambar 2. 33 Kurva Potentiodynamic polarization <i>weathering steel</i> pada lingkungan SO_2	42
Gambar 2. 34 Grafik perbandingan komposisi tembaga masing masing specimen uji	43
Gambar 2. 35 Grafik perbandingan microstrain spesimen uji sebelum dan setelah copperizing berdasarkan hasil XRD	43
Gambar 3. 1 Diagram alir penelitian	47
Gambar 4. 1 Hasil pengambilan gambar visual baja AISI 1006 setelah proses <i>Copperizing</i> (a) <i>Normalizing</i> (b) <i>Cop Normal</i> (c) <i>Cop PH 5 N</i> (d) <i>Cop PH 10 N</i> (e) <i>Cop PH 15 N</i> (f) <i>Cop PH 20 N</i> laju pendinginan <i>normalizing</i>	58
Gambar 4. 2 Hasil pengambilan gambar visual baja AISI 1006 setelah proses <i>Copperizing</i> (a) <i>Quenching</i> (b) <i>Cop Quench</i> (c)	

<i>Cop PH 5 Q</i> (d) <i>Cop PH 10 Q</i> (e) <i>Cop PH 15 Q</i> (f) <i>Cop PH 20 Q</i> laju pendinginan <i>quenching</i>	60
Gambar 4. 3 Hasil pengambilan gambar visual baja AISI 1006 setelah proses <i>Copperizing</i> (a) <i>Annealing</i> (b) <i>Cop Anneal</i> (c) <i>Cop PH 5 A</i> (d) <i>Cop PH 10 A</i> (e) <i>Cop PH 15 A</i> (f) <i>Cop PH 20 A</i> laju pendinginan <i>Annealing</i>	62
Gambar 4. 4 Hasil pola pengujian XRD spesimen control	64
Gambar 4. 5 Hasil XRD Baja AISI 1006 <i>Copperizing</i> dengan variasi <i>post-heat</i> dengan pendinginan <i>Normalizing</i>	66
Gambar 4. 6 Hasil XRD Baja AISI 1006 <i>Copperizing</i> dengan variasi <i>post-heat</i> dengan pendinginan <i>Quenching</i>	68
Gambar 4. 7 Hasil XRD Baja AISI 1006 <i>Copperizing</i> dengan variasi <i>post-heat</i> dengan pendinginan <i>Annealing</i>	69
Gambar 4. 8 Hasil CRD pada permukaan Baja AISI 1006 <i>copperizing</i> pada larutan elektrolit pH 4 (6.25×10^{-5} M H_2SO_4) mengandung 200 ppm Cl^- (5.5×10^{-3} M NaCl)	70
Gambar 4. 9 Struktur mikro Baja AISI 1006 <i>Copperizing</i> dengan variasi <i>post-heat</i> disertai pendinginan <i>Normalizing</i> , (a) <i>Normalizing</i> (b) <i>Cop Normal</i> (c) <i>Cop PH 5 N</i> (d) <i>Cop PH 10 N</i> (e) <i>Cop PH 15 N</i> dan (f) <i>Cop PH 20 N</i>	72
Gambar 4. 10 Diameter rata-rata Baja AISI 1006 <i>coppering</i> dengan variasi <i>post-heat</i> dengan pendinginan <i>normalizing</i>	73
Gambar 4. 11 Struktur mikro Baja AISI 1006 <i>Copperizing</i> dengan variasi <i>post-heat</i> disertai pendinginan <i>Quenching</i> , (a) <i>Quenching</i> (b) <i>Cop Quench</i> (c) <i>Cop PH 5 Q</i> (d) <i>Cop PH 10 Q</i> (e) <i>Cop PH 15 Q</i> dan (f) <i>Cop PH 20 Q</i>	76
Gambar 4. 12 Struktur mikro Baja AISI 1006 <i>Copperizing</i> dengan variasi <i>post-heat</i> disertai pendinginan <i>Annealing</i> , (a) <i>Annealing</i> (b) <i>Cop Anneal</i> (c) <i>Cop PH 5 A</i> (d) <i>Cop PH 10 A</i> (e) <i>Cop PH 15 A</i> dan (f) <i>Cop PH 20 A</i>	80
Gambar 4. 13 Diameter rata-rata Baja AISI 1006 <i>coppering</i> dengan variasi <i>post-heat</i> dengan pendinginan <i>annealing</i>	81
Gambar 4. 14 Hasil Kurva Pengujian Tafel Baja AISI 1006 <i>Copperizing</i> dengan variasi <i>post-heat</i> dilanjutkan pendinginan	

<i>normalizing</i> pada larutan air pH 4 (6.25×10^{-5} M H_2SO_4) yang mengandung 200 ppm Cl^- (5.5×10^{-3} M NaCl)	83
Gambar 4. 15 Kurva <i>corrosion rate</i> pada pengujian Baja AISI 1006 <i>Copperizing</i> dengan variasi <i>post-heat</i> dengan pendinginan <i>Normalizing</i>	85
Gambar 4. 16 Hasil Kurva Pengujian Tafel Baja AISI 1006 <i>Copperizing</i> dengan variasi <i>post-heat</i> dilanjutkan pendinginan <i>quenching</i> pada larutan air pH 4 (6.25×10^{-5} M H_2SO_4) yang mengandung 200 ppm Cl^- (5.5×10^{-3} M NaCl)	86
Gambar 4. 17 Kurva <i>corrosion rate</i> pada pengujian Baja AISI 1006 <i>Copperizing</i> dengan variasi <i>post-heat</i> dengan pendinginan <i>Quenching</i>	88
Gambar 4. 18 Hasil Kurva Pengujian Tafel Baja AISI 1006 <i>Copperizing</i> dengan variasi <i>post-heat</i> dilanjutkan pendinginan <i>quenching</i> pada larutan air pH 4 (6.25×10^{-5} M H_2SO_4) yang mengandung 200 ppm Cl^- (5.5×10^{-3} M NaCl)	89
Gambar 4. 19 Kurva <i>corrosion rate</i> pada pengujian Baja AISI 1006 <i>Copperizing</i> dengan variasi <i>post-heat</i> dengan pendinginan <i>Annealing</i>	91
Gambar 4. 20 Kurva <i>corrosion rate</i> gabungan dari ketiga metode perdinginan	92

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Kecenderungan Elemen Paduan (Higgins, 1999)	16
Tabel 2. 2 Komposisi kimia baja AISI 1006 (ASTM A830-A830M, 2003).....	20
Tabel 2. 3 Tracer koefisien difusi Cu ke Besi murni (Butrymowicz,1976)	26
Tabel 2. 4 Beda potensial Logam (Ahmad, 2006)	34
Tabel 2. 5 Konversi mils per year (Fontana,1986)	35
Tabel 2. 6 Perbandingan mils penetration per year dengan <i>equivalent matrix-rate expressions</i> (Fontana, 1986).....	35
Tabel 2. 7 Material uji (Jang, 2009)	38
Tabel 2. 8 Komposisi material uji (Seob lee, 2008).....	40
Tabel 3. 1 Perhitungan kedalam difusi tembaga.....	49
Tabel 3. 2 Rancangan Percobaan.....	50
Tabel 3. 3 Parameter Pengujian Tafel.....	53
Tabel 3. 4 Tabel Pengujian Polarisasi Tafel	54
Tabel 3. 5 Pengujian EOS	54
Tabel 3. 6 Kebutuhan Spesimen	55
Tabel 4. 1 Komposisi unsur spesimen kontrol.....	62
Tabel 4. 2 Spesifikasi Peak Fe hasil pengujian XRD spesimen kontrol	64
Tabel 4. 3 Spesifikasi Peak Fe hasil pengujian XRD spesimen Baja AISI 1006 <i>Copperizing</i> variasi post-heat dengan pendinginan <i>normalizing</i>	65
Tabel 4. 4 Spesifikasi Peak Fe hasil pengujian XRD spesimen Baja AISI 1006 <i>Copperizing</i> variasi post-heat dengan pendinginan <i>quenching</i>	67
Tabel 4. 5 Spesifikasi Peak Fe hasil pengujian XRD spesimen Baja AISI 1006 <i>Copperizing</i> variasi post-heat dengan pendinginan <i>annealing</i>	69
Tabel 4. 6 Parameter Elektrokimia Hasil Analisis Kurva Tafel Baja AISI 1006 <i>Copperizing</i> variasi <i>post-heat</i> pendinginan <i>Normalizing</i> pada larutan air pH 4 (6.25×10^{-5} M H ₂ SO ₄) mengandung 200 ppm Cl ⁻ (5.5×10^{-3} M NaCl).....	84

Tabel 4. 7 Parameter Elektrokimia Hasil Analisis Kurva Tafel Baja AISI 1006 <i>Copperizing</i> variasi <i>post-heat</i> pendinginan <i>Quenching</i> pada larutan air pH 4 (6.25×10^{-5} M H_2SO_4) mengandung 200 ppm Cl^- (5.5×10^{-3} M NaCl).....	87
Tabel 4. 8 Parameter Elektrokimia Hasil Analisis Kurva Tafel Baja AISI 1006 <i>Copperizing</i> variasi <i>post-heat</i> pendinginan <i>Annealing</i> pada larutan air pH 4 (6.25×10^{-5} M H_2SO_4) mengandung 200 ppm Cl^- (5.5×10^{-3} M NaCl)	90

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Baja karbon merupakan paduan yang terdiri dari Ferrous dan Carbon selain unsur utama tersebut biasanya terdapat beberapa unsur lain yang terkandung dengan presentasi yang sangat sedikit seperti Tembaga, Mangan, Silicon dan lain-lain, Baja paduan memiliki cukup banyak konsentrasi paduan lain, baja di klasifikasikan berdasarkan elemen lain yang terkandung di dalamnya selain itu diklasifikasikan berdasarkan presentasi dari *Carbon* yang tergantung yaitu *Low-Carbon Steel*, *Medium-Carbon Steel*, dan *High-Carbon Steel*. *Low Carbon Steel* merupakan paduan pada baja yang memiliki presentasi karbon dibawah 0.25 wt% *carbon* tidak mengalami perubahan signifikan pada perlakuan panas untuk menghasilkan fasa martensite, kekerasan ditingkatkan dengan *Coldwork*. Salah satu type dari *Low Carbon Steel* adalah *High Strength Low Alloy* (HSLA) dimana mendapat penambahan elemen lain seperti Tembaga, Vanadium, Nikel, dan Molybdenum dalam satu kesatuan dengan presentasi tidak lebih dari 10%, yang memiliki pengaruh pada peningkatan pada sifat *ductile*, *formable*, *machinable*. HSLA sendiri memiliki ketahanan korosi lebih baik dibanding *plain steel* dan biasa digunakan pada baja struktur bangunan seperti jembatan, tower, dan *pressure vessels* (Callister, 2010).

Tembaga merupakan unsur kimia dengan symbol Cu memiliki nomer atom 19 memiliki temperature lebur 1083°C, termasuk logam non ferrous yang memiliki sifat pengantar listrik dan panas yang tinggi, keuletan yang tinggi serta ketahanan korosi yang baik, Cu biasa di tambahkan pada *Low Carbon Steel* untuk membuat baja *High Strength Low Carbon* yang salah satunya sifatnya memiliki ketahanan pada lingkungan korosi yang atmosferic, penambahan tidak hanya Cu saja namun dengan unsur lain seperti Kromium, Nikel, Phosphor, Silicon dan Mangan, penambahan unsur lain total tidak lebih dari 3-5 wt%,



ketahanan korosi dapat meningkat pada *low carbon steel* khususnya HSLA Karena ada pembentukan *atmospheres compact layer* yang di sebut *Patina* (Morcillo, 2013).

Proses pembuatan baja biasanya menggunakan teknik *mechanical alloying*, dimana logam dibuat menjadi bubuk kemudian *dimilling* dengan *mill balls* hingga terjadi paduan (El-Eskandarany, 2001) atau menggunakan *conventional casting* dengan meleburkan logam dan mencampurnya dengan logam lain kedalam sebuah cetakan (ASM handbook Vol 15, 1992) namun seiring berkembangnya waktu terdapat beberapa kemungkinan menghasilkan baja paduan dengan menginterksikan antara logam cair dengan logam padat hingga terjadi migrasi atom dari logam cair ke logam padat, contoh kecilnya pada pengelasan dimana logam cair di interaksikan dengan logam padat, selain membentuk sambungan menimbulkan migrasi dari logam cair menuju logam padat (Ishida, 1986).

Penelitian ini menggunakan metode untuk membuat sebuah paduan antara baja dan tembaga dengan mengadopsi proses *welding* yang mengontakkan logam cair dengan logam padat sehingga terjadi migrasi atom/difusi dari logam cair ke logam padat, logam yang dipadukan adalah tembaga dan baja AISI 1006 dimana nantinya baja akan di celupkan pada tembaga cair, selanjutnya metode ini disebut *copperizing* , sebelum proses *copperizing* baja di *pre-heat* dan setelah proses *copperizing* akan di *post heat* kemudian dilakukan variasi pendinginan, dari proses ini akan dianalisa pengaruh *post-heat* dan variasi pendinginan terhadap ketahanan korosi dan struktur mikro yang terbentuk dengan berbagai metode pengujian.

1.2 Perumusan Masalah

Rumusan masalah dalam penelitian ini adalah :

1. Bagaimana pengaruh *post-heat* dan *cooling rate* terhadap mekanisme difusi struktur mikro tembaga pada baja AISI 1006?



-
2. Bagaimana pengaruh *post heat* dan *cooling rate* terhadap sifat ketahanan korosi baja AISI 1006 melalui proses *copperizing*?

1.3 Batasan Masalah

Agar diperoleh hasil sesuai dengan yang diinginkan dan tidak menyimpang dari tujuan penelitian, maka dibuat batasan masalah sebagai berikut

1. Pengaruh lingkungan sekitar proses *copperizing* diabaikan
2. Temperatur ketika pengangkatan substrat dan pencelupan dianggap konstan
3. Tembaga dianggap leleh sempurna dan temperturnya konstan
4. Kecepatan pendinginan dianggap konstan

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dilakukannya penelitian ini adalah

1. Menganalisis pengaruh *post-heat* dan *cooling rate* terhadap mekanisme difusi struktur mikro tembaga pada baja AISI 1006 melalui proses *copperizing*.
2. Menganalisis pengaruh *post-heat* dan *cooling rate* terhadap sifat ketahanan korosi yang terjadi pada baja AISI 1006 melalui proses *copperizing*.

1.5 Manfaat Penelitian

Penelitian ini bermanfaat untuk memberikan informasi tentang pengaruh dari *post-heat* dan *cooling rate* terhadap mekanisme difusi tembaga, perubahan struktur mikro, perubahan fasa, dan sifat ketahanan korosi pada baja AISI 1006 dalam proses *copperizing* serta mekanisme penguatan yang terjadi dalam metode tersebut.



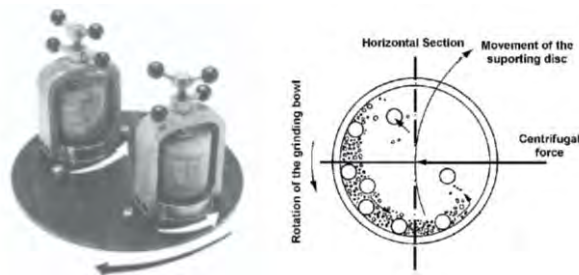
(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Proses Pemaduan Pada Logam

2.1.1 Mechanical Alloying

Mechanical Alloying adalah istilah *general* untuk pengolahan serbuk logam dalam *high energy ball mills*, *mechanical alloying* menjelaskan tentang proses pencampuran *powder metal* kemudian *dimilling*, yang artinya powder metal A dan B digiling bersama-sama untuk menghasilkan larutan padat (baik ekuilibrium atau jenuh), intermetalik, atau amorphous (Suryanarayana, 2004), pada awalnya metode *milling* digunakan untuk mereduksi sebuah material dari berukuran besar dan kasar menjadi kecil dan halus namun seiring berkembangnya waktu *milling* digunakan untuk memadukan material untuk meningkatkan sifat fisik dan mekanik hasil dari paduan, *Milling* menggunakan bola bola penggiling atau batang penggiling untuk mereduksi dan memadukan material.



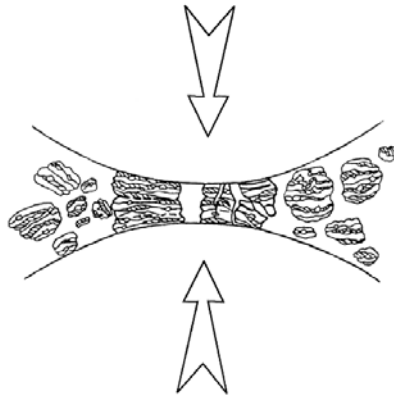
Gambar 2. 1 Peralatan dan skema proses *Milling* (El-Eskandarany, 2001)

Kelebihan menggunakan *Milling* mampu mengurangi beberapa logam oksida dalam paduan dengan *Milling* serbuk oksida, proses terjadi dalam keadaan *solid state*, reaksi terjadi langsung antara permukaan serbuk didalam temperature ruangan yang artinya dapat digunakan untuk mendapatkan paduan atau senyawa yang sulit atau tidak mungkin didapatkan dengan



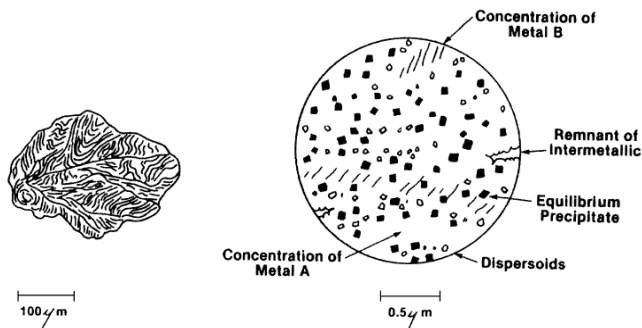
menggunakan teknik peleburan atau *conventional casting* (El-Eskandarany, 2001).

Proses *Mechanical Alloying* ketika dua *mill balls* berbenturan, ketika itu sejumlah *powder metal* terjebak diantara mereka, biasanya sekitar 1000 partikel dengan berat agregat sekitar 0,2 mg terjebak selama setiap tabrakan (Gambar 2.2), selama proses ini bubuk morfologi dapat dimodifikasi, ketika serbuk *power metal* telah lembut lapisan akan diratakan tumpeng tindih untuk membentuk lasan dingin hal ini menyebabkan pembentukan partikel bubuk komposit berlapis yang terdiri dari kombinasi material awal. (Suryanarayana, 2004).



Gambar 2. 2 Tumbukan antara dua *mill balls*
(Suryanarayana, 2004)

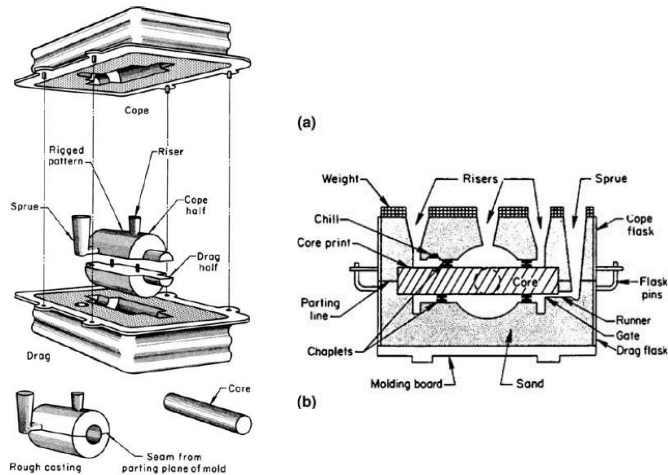
Tahap awal pengolahan partikel *powder metal* membentuk lapisan komposit sesuai dengan elemen penyusun kemudian *powder metal* membentuk lamellar dan terjadi interdifusi dari *constituen*, komposisi partikel mendekati komposisi awal campuran dengan keadaan telah terjadi menjadi paduan baru, kekerasan mikro pada paduan mencapai tingkatan jenuh karena akumulasi dari energy regangan akibat tabrakan dengan *mill balls*.



Gambar 2. 3 Ilustrasi produk *Mechanical Alloying*
(Suryanarayana, 2004)

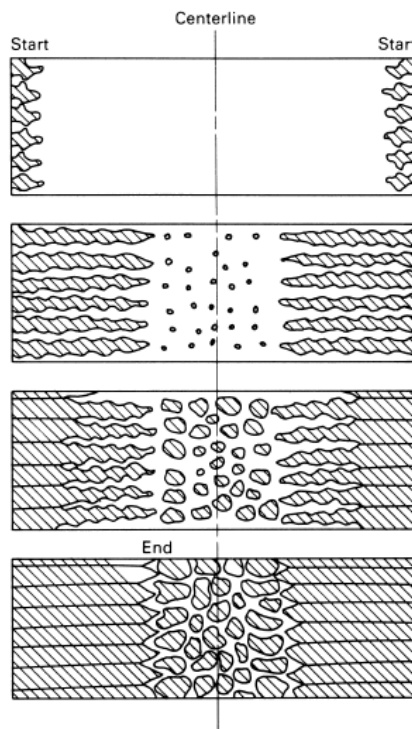
2.1.2 Conventional Casting

Casting merupakan salah satu metode manufaktur tertua, proses *casting* melibatkan penuangan logam cair kedalam rongga cetakan yang telah di konfigurasikan dengan bentuk dan dimensi dari bentuk benda yang di inginkan metode *casting* dibedakan menjadi beberapa katogori yaitu 1. Cetakan tidak permanen dengan pola permanen 2. Cetakan tidak permanen dengan pola tidak permanen 3. Cetakan dan pola permanen, cetakan bertujuan membentuk logam cair sehingga setelah mengalami proses pendinginan logam akan sesuai dengan bentuk yang di inginkan, Seluruh paduan cair akan mengalami penyusutan ketika proses casting kecuali *cast iron* Karena kandungan grafit yang mengambang selama proses pendinginan (ASM International, 2009).



Gambar 2. 4 Peralatan *Casting* (ASM International, 2009)

Proses Nukleasi memerankan peranan penting dalam solidifikasi *casting* karena berkaitan dengan struktur mikro, ukuran butir dan distribusi fasa dari paduan. Jika proses solidifikasi berlangsung sangat cepat maka akan menghasilkan butiran yang kecil dan tidak merata untuk itu hal ini sangat di perhatikan (ASM handbook Vol 15, 1992), untuk pembekuan pada *casting* dimulai dari bagian yang temperaturnya rendah umumnya terletak dibagian coran yang bersentuhan dengan cetakan, panas logam berpindah dari logam cair ke cetakan kemudian terjadi nukleasi dan kemudian logam membeku, bagian dalam coran mendingin lebih lambat.



Gambar 2. 5 Proses pembekuan baja paduan pada metode *casting* (ASM International, 2009)

Keuntungan yang didapat dari metode *casting* adalah 1. Proses produksi yang cepat karena dilakukan dengan sederhana dan langsung setelah peleburan logam 2. Mampu menghasilkan bentuk yang complex 3. Penempatan logam dapat di atur sehingga untuk bagian yang dibutuhkan performa logam tertentu mudah untuk di lakukan 4. Mencegah terjadinya tegangan sisa dan konsentrasi tegangan akibat pemadatan (ASM handbook Vol 15, 1992).



2.2 Pengaruh Proses Pemaduan Terhadap Properti Material

Pengaruh proses pemaduan antar logam akan membentuk sebuah system paduan, dimana system yang terdiri dari semua paduan yang dapat terbentuk dari beberapa unsur dengan semua macam komposisi yang mungkin dapat dibuat, Logam di padukan dengan unsur lain ada beberapa kemungkinan yang akan terjadi yaitu terbentuk *compound* (senyawa), *solid solution* (Larutan padat), atau *mixture* (Campuran).

2.2.1 Compound (*Senyawa*)

Senyawa adalah gabungan dari beberapa unsur dengan perbandingan tertentu yang tetap, senyawa memiliki titik lebur/beku tertentu, seperti halnya pada logam murni, mulai dari selesai membeku/mencair pada temperature yang sama, atom atom dari suatu unsur berikatan dengan atom unsur lain dan membentuk Kristal sendiri. (Suherman, 2003)

Terdapat 3 macam senyawa yang sering dijumpai pada logam yaitu :

1. *Intermetallic compound*, terbentuk dari logam logam yang sifat kimianya sangat berbeda dan kombinasinya mengikuti aturan kombinasi kimia,
Contoh : CaSe , Mg_2Pb , Mg_2Sn , Cu_2Se .
2. *Interstitial compound*, terbentuk dari logam transisi Scandium (Sc), Titanium (Ti), Tantalum (Ta), Wolfram (W), dan Ferrous (Fe) dengan Hidrogen (H), Oksigen (O), Carbon (C), Boron (B), dan Nitrogen (N), dimana kelima unsur tersebut memiliki diameter atom yang sangat kecil sehingga memungkinkan untuk masuk dalam Kristal.
Contoh : Fe_3C , TiC , TaC , W_2C , Fe_4N , CrN , TiH .
3. *Electron compound* terbentuk dengan komposisi kimia sedemikian rupa sehingga mendekati perbandingan jumlah electron valensi dengan jumlah atom tertentu
Contoh : AgCd , AgZn , Cu_2Al , AuZn_3 . (Suherman, 2003)



2.2.2 Solid Solution (Larutan Padat)

Larutan padat terdiri dari dua bagian yaitu *solute* (terlarut) dan *solvent* (pelarut), larutan padat terbentuk ketika sebagian atom terlarut ke dalam *host material* dimana struktur Kristal di pertahankan dan tidak terbentuk struktur baru (*homogeneous*). Terdapat 2 jenis larutan padat yaitu 1. Larutan Padat *Substitutional* 2. Larutan Padat *Interstitial* (Callister, 2010).

Larutan padat *substitutional* merupakan jenis atom *solute* menggantikan tempat (substitusi) atom *solvent* dalam struktur Kristal *solvent*, pada system ini terdapat beberapa factor yang mempengaruhi kelarutan yaitu

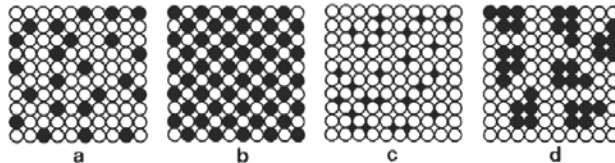
1. *Atomic size factor*, diameter atom terlarut berbeda kurang lebih 15% dari atom pelarut, factor ukuran akan menjadi keuntungan untuk banyaknya atom yang akan terlarut.
2. *Electrochemical effect*, semakin elektropositif dari suatu komponen dan lebih elektrnegatif yang lain maka kemungkinan akan membentuk *compound* dari pada larutan padat, namun jika elektropositif dan elektonegatif kecil akan cenderung membentuk larutan padat.
3. *Relative valency effect*, sebuah logam valensi rendah dapat melarutkan lebih banyak logam bervalensi tinggi dari pada sebaliknya (Smallman, 1999).

Larutan padat *interstitial* terbentuk bila atom dengan berdiameter yang sangat kecil dapat masuk di dalam rongga antar atom dalam struktur kristal dari *solvent* dengan diameter atom yang sangat besar, karena celah atom dalam struktur kristal sangat kecil maka hanya atom yang sangat kecil, dengan radius kurang dari angstrom yang dapat menyisip dan membentuk larutan padat *interstitial*

Kedua larutan padat *substitutional* dan *interstitial* data tersusun secara acak dengan statistika penyebaran atom atau tersusun secara rata keseluruhannya, tidak seperti atom yang menunjukkan preferensi untuk satu sama lain, larutan padat yang



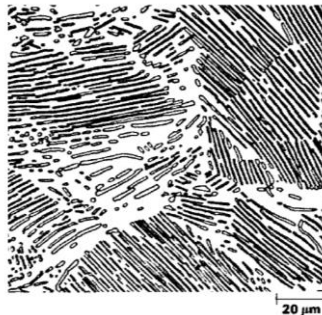
tersusun secara rata berulang disebut *superlattice* sesuai ilustrasi dari Gambar 2.5 (Cahn, 1996).



Gambar 2. 6 Skema *solid solution* (a) *substitutional random* (b) *substitutional ordered* (c) *interstitial random* (d) *solute clusters* dalam *solid solution* (Cahn, 1996).

2.2.3 Mixture (Campuran)

Pada suatu struktur campuran masing-masing komponen masih tetap tampak, masing-masing komponen masih memperlihatkan kristalnya, suatu struktur campuran terdiri dari beberapa fase (Suherman, 2003) contohnya fase perlite yang di dalamnya terdapat fase Cementit dan Ferrite.



Gambar 2. 7 Fase pearlite terdiri cementite (putih) dan ferrite (hitam) (Callister, 2010).

2.3 Steel

2.3.1 Carbon Steel

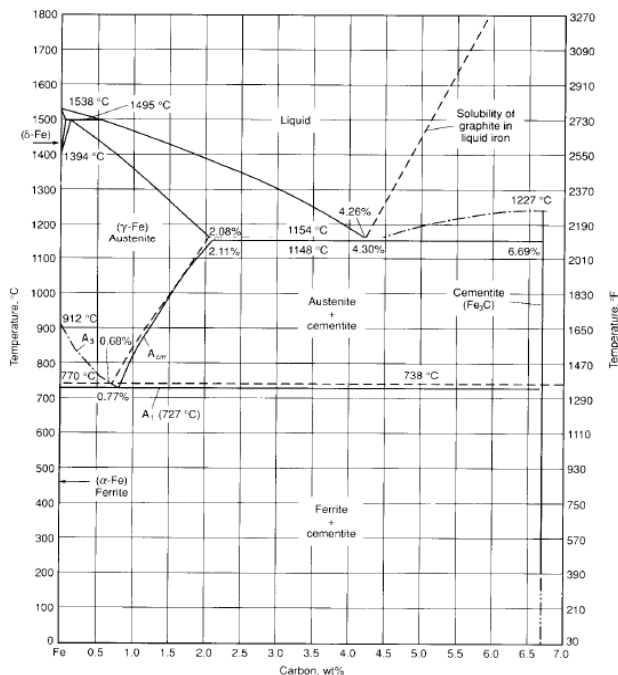
Komponen terbesar dalam baja adalah besi (Fe) yang memiliki 2 bentuk struktur kristal berbeda di bawa temperatur leburnya, yaitu *body-centered cubic* (bcc) yang stabil pada temperatur di bawah 912°C (1675°F) dan pada temperatur



1394°C (2540°F) hingga temperature leburnya 1530°C (2785°F), pada pembentukannya struktur bcc lebih dikenal dengan alpha ferrite dan pada temperature yang lebih tinggi bcc di kenal dengan delta ferrite, struktur kristal lainnya stabil pada temperature 912 hingga 1394°C (1675 hingga 2540°F) adalah *face-centered cubic* (fcc) yang lebih dikenal dengan gamma ferrite atau austenite.

Baja memiliki kandungan elemen carbon dengan jumlah mulai dari yang sangat kecil 0.005 wt% (*ultralow-carbon*) hingga kandungan maksimum yaitu 2.00 wt%, carbon memiliki pengaruh yang sangat besar pada perubahan phasa, mikrostruktur dan sifat pada baja, secara umum carbon di jaga pada kandungan kecil untuk mendapatkan sifat elastis (*ductility*), ketangguhan (*toughness*) dan mampu las (*weldability*) yang tinggi, untuk kandungan karbon yang tinggi di gunakan untuk mendapatkan sifat kekuatan (*strength*), kekerasan (*hardness*), ketahanan beban berulang (*fatigue resistance*), dan ketahanan ausan (*wear resistance*). (ASM Handbook vol. 1, 1990).

Pada gambar 2.8 menunjukkan diagram fasa besi-carbon dan pengaruh carbon dalam keadaan setimbang dari besi murni, carbon adalah penstabil austenit dan memperluas batas temperature dari kestabilan austenite, kelarutan karbon pada austenite sangat tinggi (2.11 wt%) dalam keadaan setimbang dengan tambahan cementit pada temperature 1148°C (3000°F) dibandingkan dengan ferrite (0.0218 wt%) dalam keadaan setimbang dengan tambahan cementit, sesuai dengan penjelasan diatas baja dibagi menjadi 2 baja karbon rendah dan baja karbon tinggi berdasarkan kandungan carbon yang ada.



Gambar 2. 8 Diagram fasa Fe-Fe₃C (ASM Handbook vol.1, 1990)

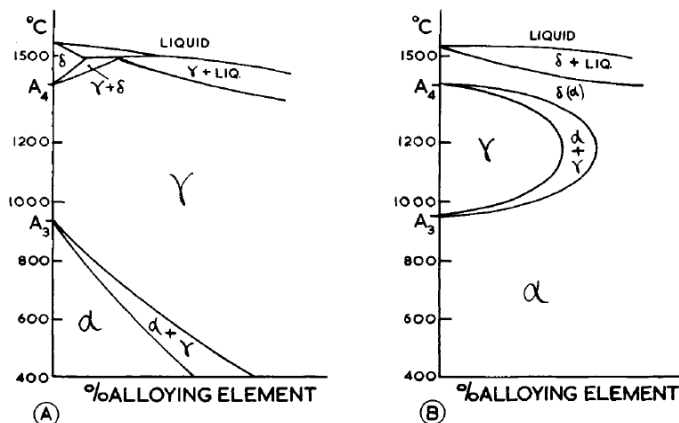
2.3.2 Alloy Steel

Baja paduan merupakan baja karbon yang sengaja diberikan penambahan elemen lain untuk mendapatkan sifat tertentu yang diinginkan sesuai pengaruh elemen tersebut, seperti penambahan sedikit nikel dan krom akan menghasilkan peningkatan kemampuan mekanik khususnya kekuatan dan ketangguhan dari baja karbon, dengan penambahan jumlah yang lebih besar dari elemen-elemen akan mempengaruhi terhadap stabilisasi dari fase austenite.

Beberapa elemen teturama nikel, mangan, kobalt dan tembaga akan meningkatkan temperature A₄ dan A₃ rendah



seperti di tunjukkan gambar 2.9 (a) , oleh karena itu elemen tersebut jika ditambahkan ke dalam baja cenderung menstabilkan austenite hingga dapat meningkatkan jangkauan temperatur terbentuknya austenite bahkan bias mencapai temperature kamar , unsur unsur lain yang penting adalah kromium, tungsten, vanadium, molybdenum, aluminium dan silikon yang memiliki efek sebaliknya yaitu cenderung menstabilkan ferrite dengan menaikkan temperatur A3 dan menurunkan temperature A4 seperti ditunjukkan Gambar 2.9 (b).(Higgins, 1999)



Gambar 2. 9(a) Penstabil Austenite, (b) Penstabil Ferrite
(Higgins, 1999)

Elemen pada unsur paduan juga mempengaruhi penyebarannya alam baja , pada dasarnya semua paduan sedikit atau banyak dapat larut di dalam ferrit, austenite pada umumnya dapat melarutkan unsur paduan dalam kadar yang lebih tinggi , sebagian lainnya elemen paduan cenderung membentuk karbida, ada yang cenderung tinggi , sedikit bahkan tidak pernah dijumpai dalam bentuk karbida. (Suherman, 1999)

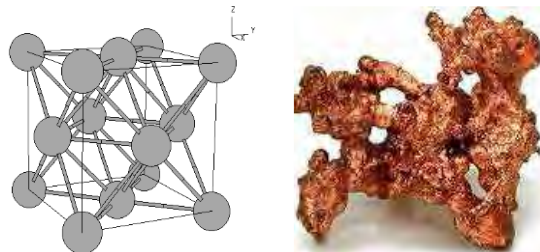


Tabel 2. 1 Kecenderungan Elemen Paduan (Higgins, 1999)

ELEMENT	PROPORTION DISSOLVED IN FERRITE	PROPORTION PRESENT AS CARBIDE	ALSO PRESENT IN STEEL AS —
NICKEL	←	→	NiAl ₃
SILICON	←	→	—
ALUMINIUM	←	→	NITRIDES (19.41)
MANGANESE	←	→	MnS INCLUSIONS (6.63)
CHROMIUM	←	→	—
TUNGSTEN	←	→	—
MOLYBDENUM	←	→	—
VANADIUM	←	→	NITRIDES (19.41)
TITANIUM	←	→	—
NIObIUM	←	→	—
COPPER	SOL. 0.3% max.	→	Cu GLOBULES IF > 0.3%
LEAD	←	→	Pb GLOBULES (6.64)

2.3.3 Steel Containing Copper

Tembaga merupakan *non-polymorphous* metal dengan bentuk struktur *face centered cubic* (FCC) tembaga murni dapat dilihat pada Gambar 2.10, penambahan zinc dalam produksi akan merubah warna menjadi kekuningan dan penambahan nikel akan merubah warna menjadi silver, memiliki temperaur *melting* 1083°C dan *desity* 8900 kgm⁻³ tiga kali lebih berat dibandingkan aluminium, konduktivitas terhadap panas dan listrik lebih rendah dibandingkan dengan silver, namun satu setengah lebih besar dibandingkan aluminium (Konecna,2012)

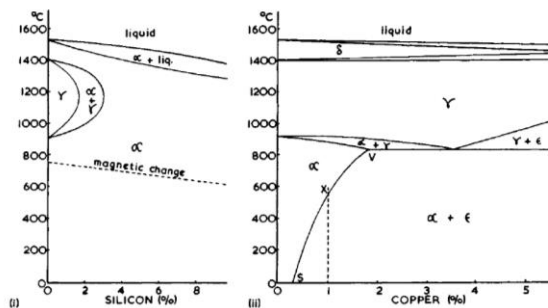


Gambar 2. 10 *Natural copper* dan Struktur Kristal FCC (Konecna,2012)

Dalam baja kandungan tembaga sangat sedikit digunakan di negara inggris namun di amerika sangat populer menambahkan



kandungan tembaga ke dalam baja, karena struktur Kristal yang FCC cenderung menstabilkan austenite ketika ditambahkan ke dalam baja. Namun sedikit larut dalam ferit, kelarutan menurun dari 1,8% pada 835°C sampai 0,3% pada 0°C, tembaga tidak membentuk karbida, akibatnya tembaga ditambahkan ke *low carbon steel* saja dan dalam jumlah tidak lebih dari 15% (Higgins, 1999)

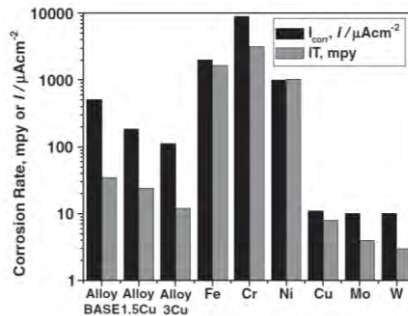


Gambar 2. 11 Diagram fasa besi-silicon (i), Diagram fasa besi-tembaga (Higgins, 1999)

Tembaga dalam baja memiliki pengaruh :

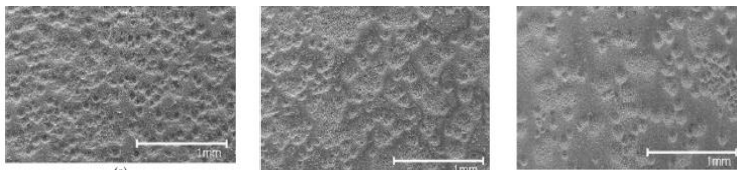
Meningkatkan ketahanan terhadap korosi Menghasilkan paduan yang dapat menghasilkan presipitasi pengerasan yang memungkinkan meningkatkan 175 N/mm² *tansile strength* (Higgins, 1999)

Di ketahui penambahan tembaga ke baja ferric dan autenitik dalam *Stainless steel duplex* , mekanisme perlindungan korosi yang dilakukan oleh Cu pada *stainless steel* didasarkan pada *suppression* pembubaran anodic oleh Cu di *surface film* austenik *stainless steel* di lingkungan asam sulfat, selain *surface film* Cu melindungi *stainless stell* perlindungan di ciptakan dari *saltfilm* yang larut seperti tembaga klorida (CuCl) atau (CuCl₂) dibentuk pada permukaan *stainless steel* di lingkungan Cl (Lee, 2012).



Gambar 2. 12 Kecepatan korosi logam murni dan eksperimen paduan saat *immersion test* dan *corrosion current density* (I_{corr}) melalui pengujian *potentiodynamic polarization* (Lee, 2012).

Peningkatan korosi yang disebabkan penambahan tembaga tidak hanya berlaku pada *stainless steel* namun juga pada *low carbon steel* dimana pada penambahan Cu terbentuk lapisan Cu_2O dan $\text{Cu}(\text{OH})_2$ di lapisan permukaannya sehingga meningkatkan ketahanan *uniform corrosion*. (Jang, 2009).

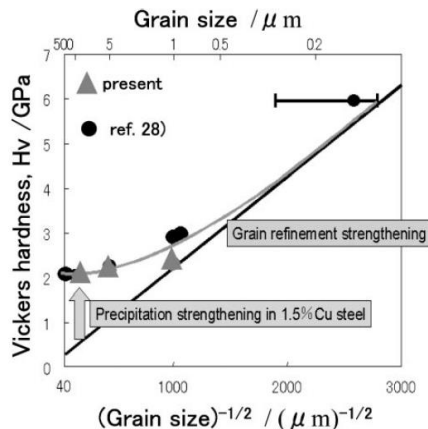


Gambar 2. 13 SEM Mikrografi setelah pengujian Polarization (a) 0wt% Cu (b) 0,2 wt% Cu (c) 0,35 wt% Cu (Jang, 2009)

Penambahan tembaga dalam *low carbon steel* tidak hanya meningkatkan ketahanan korosi namun juga meningkatkan kekuatan, peningkatan dengan penambahan Cu diakibatkan fenomena pembentukan presipitat Cu, Presipitasi tembaga terjadi selama proses *aging* karena pendinginan lambat di fasa ferrite, penambahan tembaga pada baja meningkatkan *yield strength* dengan proses *precipitation hardening* dan pembentukan



presipitasi semakin baik saat temperature aging 500°C-550°C (Zhou, 2014)



Gambar 2. 14 Perubahan kekerasan pada grain ferrit di pada presipitasi Cu (Jang, 2009)

Presipitasi dari tembaga dalam besi dan baja merupakan fenomena yang sudah dikenal dan berpotensi memberikan peningkatan kekuatan tetapi juga menstabilkan keuletan, karena efek dari presipitat tembaga secara alami berbeda dengan presipitat lain seperti nitrida dan karbida. Selain itu, penguatan dengan penghalusan butir bisa jadi adalah alasan lain terjadinya peningkatan kekuatan oleh presipitat tembaga (Takaki. 2004).

2.3.4 Baja AISI 1006

Baja AISI 1006 merupakan baja karbon sangat rendah yang biasa digunakan karena memiliki keuletan tinggi dan mampu mesin yang baik. Kadar komposisi baja AISI 1006 seperti dituliskan dalam ASTM A830-A830M dapat dilihat pada tabel 2.2. Dalam proses pembuatannya baja ini melibatkan proses *rolling*, karena sifatnya tersebut. Baja ini tergolong baja karbon sangat rendah karena kadar karbon yang terkandung maksimum 0,08 wt.% untuk segala bentuk baja AISI 1006.



Tabel 2. 2 Komposisi kimia baja AISI 1006 (ASTM A830-A830M, 2003).

Unsur	wt. %
Karbon, C	Maks 0,08
Mangan, Mn	Maks 0,45
Fosfor, P	Maks 0,035
Sulfur, S	Maks 0,04

2.3.5 HSLA (High-Strength Low Alloy)

High-Strength Low Alloy (HSLA) atau baja *microalloy* didesain untuk mendapatkan sifat mekanik yang lebih baik daripada baja karbon konvensional. Baja HSLA tidak dibuat untuk menjadi baja paduan seperti pada umumnya, tetapi memang sengaja didesain untuk sifat mekanik yang lebih spesifik (HSLA memiliki kekuatan luluh lebih dari 275 Mpa atau 40 ksi). Komposisi kimia dari HSLA secara spesifik bisa berbeda-beda tergantung dari sifat mekanik yang ingin dicapai. Baja HSLA dalam bentuk lembaran atau plat memiliki kadar karbon yang rendah (0,05-0,25% C) agar dapat diperoleh sifat mampu dibentuk dan mampu las yang baik, dan memiliki kadar Mn mencapai 2% (ASM Handbook vol 1. 2001).

Baja HSLA terdiri dari berbagai standar dan sifat yang didesain khusus untuk kombinasi sifat mekanik tertentu, seperti kekuatan, ketangguhan, sifat mampu bentuk, sifat mampu las, dan ketahanan korosi pada atmosfer. Baja ini tidak sama dengan baja paduan, karena meskipun ada tambahan unsur paduan tetapi jumlahnya sangat sedikit. Baja HSLA banyak diaplikasikan untuk pipa-pipa pada perisahan minyak dan gas, kendaraan *off-road*, jalan raya, konstruksi, peralatan industri, tangki penyimpanan, dan lain-lain (ASM Handbook vol 1. 2001).

HSLA dapat dibedakan menjadi 6 kategori

1. *Weathering steels*, yang mengandung sejumlah kecil elemen paduan seperti tembaga dan fosfor untuk meningkatkan ketahanan korosi dan penguatan *solid-solution*.

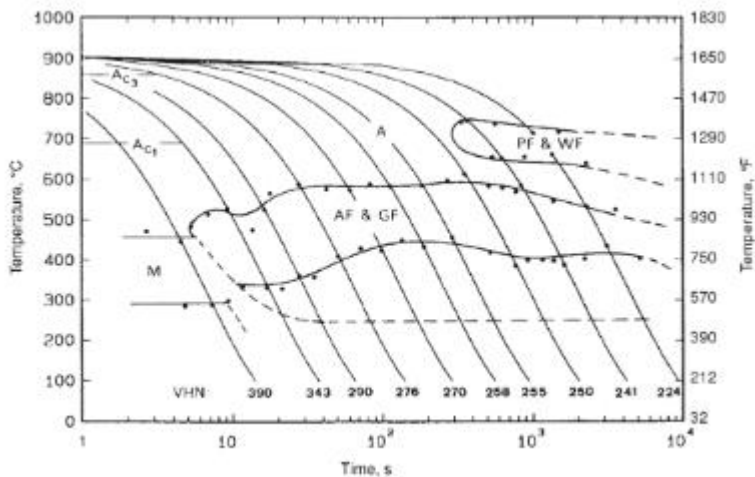


2. *Microalloyed ferrite-pearlite steels*, yang mengandung sangat kecil (umumnya, kurang dari 0,10%) penambahan karbida kuat atau elemen pembentuk karbo nitrida seperti niobium, vanadium, dan titanium untuk penguatan presipitasi, perbaikan butir, dan transformasi kontrol temperatur.
3. *As-rolled perlitic steels*, yang mungkin termasuk baja karbon-mangan yang juga memiliki penambahan sedikit elemen paduan lain untuk meningkatkan kekuatan, ketangguhan, sifat mampu bentuk (*formability*), dan mampu las.
4. *Acicular ferrite (low-carbon bainite) steels*, yang mana merupakan baja karbon rendah (kurang dari 0,05% C) dengan kombinasi yang sangat baik dari *yield strengths* yang tinggi, (setinggi 690 MPa, atau 100 ksi) mampu las, sifat mampu bentuk (*formability*), dan ketangguhan yang baik.
5. *Dual-phase steels*, yang memiliki struktur mikro martensit tersebar dalam matriks feritik dan memberikan kombinasi yang baik dari keuletan dan kekuatan tarik yang tinggi.
6. *Inclusion-shape-controlled steels*, yang mampu meningkatkan keuletan dan ketangguhan dengan sedikit penambahan kalsium, zirkonium, atau titanium, atau rare earth elements sehingga bentuk inklusi sulfida berubah dari balok memanjang menjadi kecil, tersebar, tetesan yang berbentuk bulat (ASM Handbook vol. 1, 2011).

Berikut merupakan diagram *Contonous-Cooling Transformation* dari Baja HSLA 80/Low carbon dengan kandungan .06%C, 1.45%Mn, 1.25%Cu, 0.97%Ni, 0.72%Cr, dan 0.42%Mo , diagram tersebut menubjukkan bilan baja di dinginkan dengan sangat cepat mampu menghasilkan Martensit, kemudian jika diperlambat akan muncul fasa *acicular ferrit* dan



granular ferrite, jika didinginkan dengan sangat lambat menghasilkan *polygonal ferrite* dan *winstanttend ferrite*.

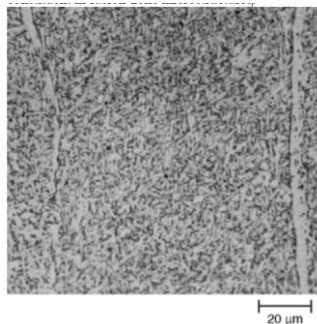


Gambar 2. 15 Continuous-cooling-transformation diagram for the low-carbon (Thompson, 1990)

2.4 Mikro Metallography and Microstructures of Weldments

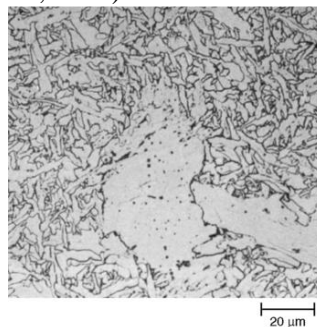
Baja *Plain Carbon* dan *low-alloy* sering digunakan sebagai baja lasan, pada daerah *fusion* baja las-an terdapat 4 daerah struktur mikro yaitu daerah *grain-growth*, daerah fine grain , daerah *partially transformed*, dan daerah reautenisasi terletak pada daerah *grain* sering disebut juga sebagai daerah rekristalisasi, daerah yang tidak terlalu terpengaruh dari proses pengelasan disebut *partially transformed* dan daerah *tempered* pada daerah *fusion* disebut sebagai daerah colom

Klasifikasi strukturmikro pada daerah *fusion* pada baja las-an telah di cantumkan pada *institute for welding* , *proeutektoid ferrite* terjadi nukleasi di batas butir *austenite* dan sering menghasilkan fasa pada batas butir yang diklasifikasikan sebagai batas butir *ferrite* (Gambar 2.16)

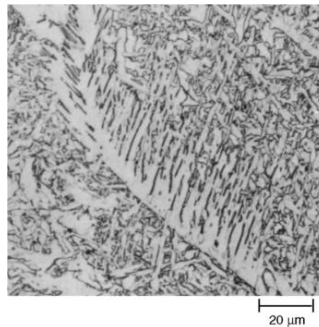


Gambar 2. 16 Strukturmikro *Grain-boundary ferrite* yang sebelumnya merupakan Austenite menggunakan etsa nital 2%, perbesaran 500x (ASM metal Handbook vol 9, 2004)

Proeutectoid ferrite yang tumbuh pada di daerah *intergranular* diklasifikasikan sebagai *polygonal ferrite* (Gambar 2.17), sedangkan untuk *Upper bainite* dan *Widmanstatten ferrite* diklasifikasikan sebagai *second phase* (Gambar 2.18) (ASM metal Handbook vol 9, 2004)



Gambar 2. 17 Strukturmikro daerah fusi terdiri dari polygonal ferrite dalam acicular ferrite kasar menggunakan etsa natal 2%, perbesaran 500x (ASM metal Handbook vol 9, 2004)

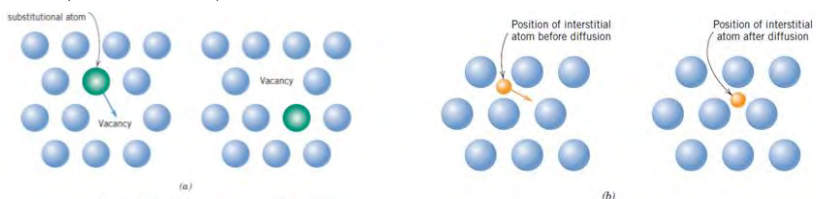


Gambar 2. 18 Strukturmikro daerah fusion dengan Widmanstatten ferrite berasal dari Gran Boundary Ferrite menggunakan nital 2%, perbesaran 500x (ASM metal Handbook vol 9, 2004)

2.5 Interaction between Fe-Cu

2.5.1 Diffusion

Interaksi yang terjadi pada saat proses pemaduan logam karena panas adalah terjadi difusi, mekanisme difusi yang terjadi terdapat dua cara yaitu interaksi intersisial dan substitusi, pada proses *Hot-Dip Galvanizing*, pembentukan dan pertumbuhan lapisannya merupakan proses difusi dengan mekanisme kekosongan (*vacancy*) dimana prinsip dari mekanisme kekosongan ini adalah jika suatu atom mengisi kekosongan yang terdapat pada susunan atomn-atomnya maka akan terjadi kekosongan baru pada susunan atom tersebut seperti pada gambar 2.19 (Astuti, 2008)



Gambar 2. 19 Skema mekanisme (a) difusi kekosongan (b) difusi intersisial (Callister, 2010).



Kekosongan dalam logam atau paduan menghasilkan ketidakstabilan yang mengakibatkan terjadinya pergerakan dari atom-atom untuk mengisi kekosongan itu dengan mekanisme substitusi, mekanisme difusi kekosongan dalam benda padat merupakan loncatan atom atom dari suatu posisi tertentu didalam strukturnya menuju posisi yang berdekatan padanya didalam strukturnya pada proses difusi dengan mekanisme kekosongan ini berlaku.

Laju difusi berbanding langsung dengan fraksi tempat atom kosong dari kisi susunan atom tersebut, dinyatakan N_v , Jika tempat atom kosong yang terjadi berdekatan dengan atom yang terlarut, maka atom yang terlarut maupun atom pelarut dapat berpindah ke tempat atom yang kosong. Kemungkinan pertukaran atom atom pelarut dengan tempat atom kosong atau atom terlarut dengan tempat kosong tidak sama, hal ini disebabkan koefisien difusi dari atom pelarut dan atom terlarut berbeda.

Karena umumnya harga $N_v = 10^{-4}$ satuan pada temperatur difusi, maka kemungkinan atom lain untuk mengisi kekosongan tersebut jarang terjadi, kadang-kadang suatu atom setelah mengisi kekosongan akan kembali ke posisi semula pada pertukarannya yang kedua, hal ini akan menghambat proses difusi.

Selain itu temperature sangat berpengaruh pada proses difusi, hal ini dikarenakan kenaikan temperatur akan memperbanyak terjadinya kekosongan, hubungan temperatur dengan tingkat kekosongan dapat di rumuskan dengan persamaan

$$N^{\circ}V = \exp \frac{-\Delta G}{RT} \quad (2.1)$$

Dimana : $N^{\circ}V$ = Konsentrasi kesetimbangan kekosongan.

ΔG = Energi bebas

Kenaikan temperature akan memperbanyak kekosongan yang akan menyebabkan meningkatnya difusi. Lamanya waktu proses akan sangat berpengaruh pada ketebalan lapisan yang



dihasilkan, ketebalan lapisan yang terbentuk pada proses *Hot-Dip Galvanizing* akan sebanding dengan difusivitas seng, hubungan antara waktu proses dengan ketebalan lapisan dirumuskan dengan persamaan sebagai berikut.

$$X = \sqrt{D \cdot t} \quad (2.2)$$

Dimana : X = tebal lapisan

D = koefisien difusi

T = waktu proses

Ketebalan lapisan oksida merupakan fungsi akar dari waktu oksida (difusi) hubungan ketebalan lapisan hasil proses difusi dengan waktu difusi tidak hanya berlaku pada peristiwa oksidasi logam saja tetapi juga dapat digunakan pada proses difusi lainnya (Astuti, 2008)

Koefisien difusi ditentukan dengan mengukur aktivitas permukaan yang dihasilkan dari proses difusi dan absorpsi, perhitungan dilakukan pada temperatur antara 800°C hingga 1200°C (Butrymowicz, 1976)

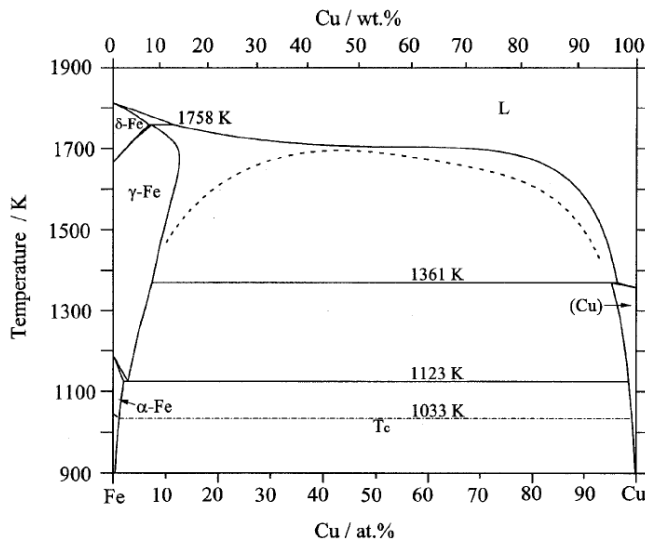
Tabel 2. 3 Tracer koefisien difusi Cu ke Besi murni
(Butrymowicz, 1976)

T (°C)	Phase	D* (cm ² /s)
1368 ^a	γ	5.20 × 10 ⁻¹⁰
1368	γ	5.03 × 10 ⁻¹⁰
1315	γ	2.56 × 10 ⁻¹⁰
1315	γ	2.45 × 10 ⁻¹⁰
1285	γ	1.55 × 10 ⁻¹⁰
1285	γ	1.52 × 10 ⁻¹⁰
901.6 ^b	α	5.1 × 10 ⁻¹¹
867.0	α	2.2 × 10 ⁻¹¹
854.5	α	1.8 × 10 ⁻¹¹



2.5.2 Diagram Keseimbangan Fe-Cu

Paduan dasar Fe-Cu dilakukan untuk mendapatkan kekuatan tinggi, konduktivitas listrik tinggi yang terdapat pada paduan kaya Cu dan paduan kaya Fe memiliki kekerasan cukup baik°



Gambar 2. 20 Skema Diagram fasa Fe-Cu (Wang, 2004)

Kelarutan Cu pada baja dapat dilihat pada gambar 2.16 dimana terlihat kelarutan Cu terhadap Fe maksimal pada kandungan 1.5 wt % dan pada temperature 1700°C.

2.6 Korosi

2.6.1 Konsep Dasar Korosi

Korosi didefinisikan sebagai kerusakan dan penurunan kualitas suatu material yang diakibatkan reaksi dengan lingkungan (Fontana, 1986) Korosi juga didefinisikan sebagai hasil perusakan dari reaksi kimia antara logam atau logam paduan dan lingkungannya. Lingkungan yang dimaksud yang dapat mengakibatkan proses korosi adalah berupa lingkungan atmosfer, gas, tanah, larutan garam, larutan asam, dll. (Sulistijono, 1999).



Korosi dapat dibagi menjadi beberapa golongan yaitu

1. Korosi kimia terjadi secara murni reaksi kimia tanpa adanya cairan elektrolit, terjadi pada temperatur yang relatif tinggi dalam lingkungan udara yang kering, biasa disebut korosi oksida yang sering terjadi pada sudu turbin gas, ruang bakar, dan bagian mesin yang bekerja pada temperatur tinggi.
2. Korosi elektrokimia biasanya terjadi pada lingkungan yang basah pada temperatur relative rendah, dengan berbagai bentuk korosi yang berbeda mengikuti mekanisme elektrokimia yang terjadi reaksi oksidasi dan reaksi reduksi, korosi ini sering terjadi secara merata pada permukaan atau local tertentu pada daerah tertentu di daerah mesin. (Sulistijono, 1999)

Terdapat 4 komponen utama untuk terjadinya korosi elektrokimia yaitu

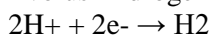
1. Anoda : merupakan salah satu elektoda yang berbeda pada sel elektrolit, yang memiliki potensial lebih rendah dan lebih reaktif, mengalami reaksi oksidasi atau korosi, melepaskan electron dan mengalirkannya ke anoda, elektroda yang kehilangan electron akan mencari dan bergabung dengan electron bebas di elektrolit, Reaksi korosi suatu logam M dinyatakan dalam persamaan berikut (Trethewey, 1991):



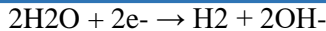
2. Katoda : merupakan salah satu dari elektroda yang berbeda pada sel elektrolit yang memiliki potensial lebih tinggi dan, mengalami reaksi reduksi. proses yang sering terjadi adalah pelepasan H_2 dan reduksi O_2 . (Trethewey, 1991)

Pelepasan H_2 dalam larutan asam dan netral.

Evolusi hidrogen / larutan asam:

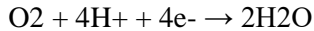


Reduksi air / larutan netral /basa:

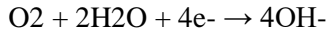


Reduksi oksigen terlarut dalam larutan asam dan netral

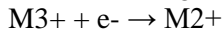
Reduksi oksigen / asam:



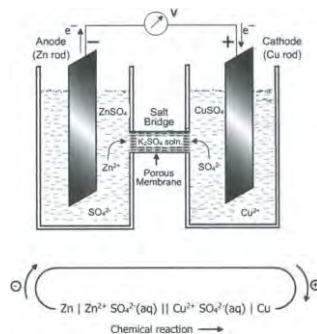
Reduksi oksigen / netral atau basa:



Reduksi ion logam yang lebih elektronegatif



3. Elektrolit : merupakan larutan elektrik konduktif (misal garam) yang harus hadir untuk terjadi korosi, untuk menghantarkan listrik dari anoda ke katoda melalui elektrolit sebagai bentuk kation.
4. Kontak metal : dua elektroda yang terhubung eksternal oleh sebuah konduktor logam, dalam konduktor logam, mengalirkan arus listrik dari (+) ke (-) dan mengalirkan electron dari arah yang berlawanan (Ahmad, 2006)



Gambar 2. 21 Skema reaksi anoda dan katoda dalam sel elektrolit (Ahmad, 2006)

2.6.2 Bentuk Korosi

Permasalahan korosi dibagi menjadi 8 katagori berdasarkan penampakan dari hasil korosi ataupun berdasarkan mekanisme serangannya.

Uniform atau *general Corrosion* : merupakan korosi yang terjadi merata di seluruh permukaan logam, serangan dihasilkan dari sel korosi local beberapa anoda dan katoda beraksi pada

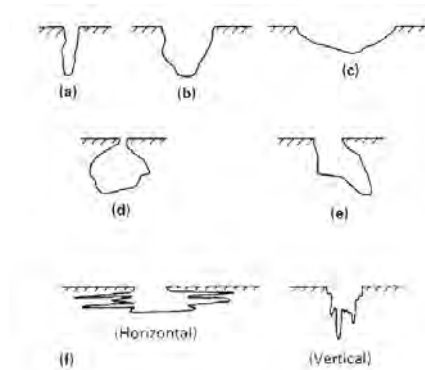


permukaan logam pada waktu tertentu, dari sudut pandang teknis korosi ini tidak terlalu di pertimbangkan, biasa disebabkan karena paparan atmosfer (terutama industry tercemar, paparan air payau, dan air garam atau paparan di tanah dan bahan kimia.



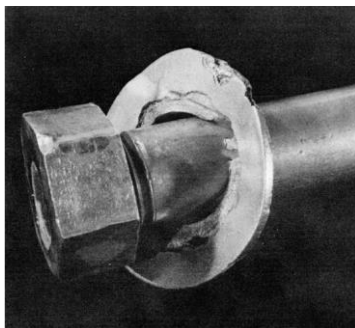
Gambar 2. 22 *Uniform corrosion* pada *weathering steel* (ASM International, 2000)

Pitting Corrosion : merupakan korosi yang terjadi local yang menghasilkan lubang tajam, lubang yang didihasilkan relatif kecil, lubang dapat di isolasi dari satu sama lain di permukaan atau begitu dekat menyerupai permukaan yang kasar, setiap rekayasa logam atau paduan rentan terhadap *pitting*, *pitting* terjadi ketika salah satu daerah logam menjadi anodic terhadap sisa permukaan atau perubahan yang sangat terlokalisasi di logam contohnya di celah celah.



Gambar 2. 23 Cariansi *pitting corrosion* (ASM International, 2000)

Crevice Corrosion : korosi celah adalah benut serangan local yang terjadi pada celah antar logam atau ruang terbuka yang sempit antar logam, serang terjadi karena adanya elektrolit dalam celah, materi dalam celah bertindak sebagai anoda dan bahan eksterior menjadi katodanya, celah tersebut dapat dihasilkan dari kecelakaan atau design.

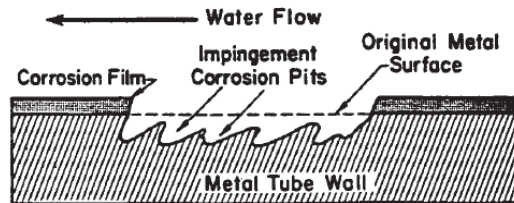


Gambar 2. 24 *Crave Corossion* (ASM International, 2000)

Galvanic Corrosion : terjadi ketika logam atau paduan terhubung dengan logam lain atau konduktor metal di dalam elektrolit yang sama.



Erosion corrosion : merupakan percepatan atau peningkatan laju kerusakan atau serangan terhadap logam karena keausan mekanis atau kontribusi abrasive beserta korosi.

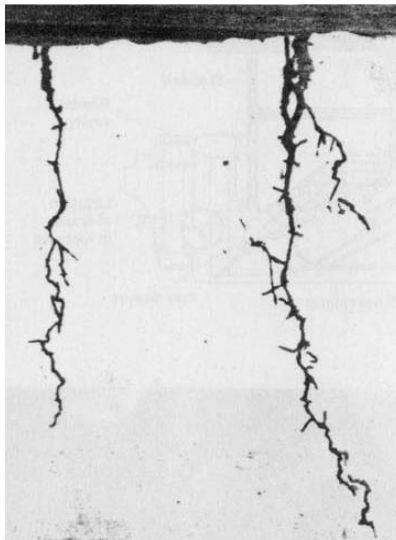


Gambar 2. 25 *Errosion corrosion Crave Corossion* (ASM International, 2000)

Intergranular Corrosion : terjadi di batas butir, disebabkan perbedaan potensial yang besar di batas butir biasanya diakibatkan adanya presipitat atau fasa intermetalik dari *impuritis*

Dealloying Corrosion : disebut juga *leaching* atau *parting corrosion*, yaitu proses korosi dimana logam yang lebih aktif dihilangkan dari paduan, meninggalkan logam yang lebih mulia. Dalam kasus *gray iron dealloyong* disebut korosi grafit. Dalam proses dealloying terjadi paduan pembubaran dan replating dari elemen katodik atau pembubaran selektif dari paduan konstituen anodik. Dalam kedua kasus, logam yang tersisa spons dan berpori dan kehilangan banyak kekuatannya, kekerasan, dan daktilitas

Stress-Corrosion Cracking : *Cracking* yang terjadi dalam paduan yang disebabkan oleh tindakan *conjoint* dari tegangan Tarik permukaan dan lingkungan korosif tertentu.



Gambar 2. 26 *Stress-Corrosion Cracking* (ASM International, 2000)

2.6.3 Beda Potensial Logam

Seperti yang di ketahui terjadinya korosi di sebabkan adanya beda potensial antara 2 logam yang berbeda, beda potensial menyebabkan terjadinya aliran arus listrik dan electron, electron berpindah dari logam dengan potensial rendah ke potensial tinggi sedangkan arus listrik berpindah dah potensial yang tinggi ke rendah, setiap logam dapat mejadi katoda dan anoda tergantung dari logam yang di pasangkan dengannya di lingkungan elektrolit, setiap unsur logam memiliki beda potensial yang berbeda beda seperti yang di tunjukkan pada table 2.4



Tabel 2. 4 Beda potensial Logam (Ahmad, 2006)

Electrode reaction E°	(V)
$\text{Au} + 3 + 3e = \text{Au}$	1.50
$\text{Pt} + ++2e = \text{Pt}$	ca 1.2
$\text{Hg}++ + 2e = \text{Hg}$	0.854
$\text{Pd}++ + 2e = \text{Pd}$	0.987
$\text{Ag}+ + e = \text{Ag}$	0.800
$\text{Hg}+++2e = 2\text{Hg}$	0.789
$\text{Cu}+ + e = \text{Cu}$	0.521
$\text{Cu}++ + 2e = \text{Cu}$	0.337
$2\text{H}++2e = \text{H}_2$	0.000
$\text{Pb}+++2e = \text{Pb}$	-0.126
$\text{Sn}+++2e = \text{Sn}$	-0.136
$\text{Mo}+3 + 3e = \text{Mo}$	ca -0.2
$\text{Ni}+ ++2e = \text{Ni}$	-0.250
$\text{Co}+++2e = \text{Co}$	-0.277
$\text{Tl}+ + e = \text{Tl}$	-0.336
$\text{In}+3 + 3e = \text{In}$	-0.342
$\text{Cd}+ ++2e = \text{Cd}$	-0.403
$\text{Fe}+++2e = \text{Fe}$	-0.440
$\text{Ga}++ + 3e = \text{Ga}$	-0.53
$\text{Cr}+3 + 3e = \text{Cr}$	-0.74
$\text{Zn}+++2e = \text{Zn}$	-0.763

2.6.4 Standart Expressions for Corrosion Rate

Dalam beberapa kasus untuk menyelesaikan masalah dalam korosi di perlukan sepemahaman dalam menilai masalah yang terjadi sehingga bisa diukur, ekspresi laju korosi yang disepakati haruslah mudah dimengerti, mudah untuk diukur dan dihitung, dapat dikonversikan dalam jangka waktu tertentu.



Pada awalnya pada tahun 1945 formula untuk mengukur laju korosi adalah

$$\text{Mils per year} = 534 \text{ W/DAT} \quad (2.3)$$

Konfersi dari beberapa unit untuk memperoleh Mils per years adalah

Tabel 2. 5 Konversi mils per year (Fontana,1986)

Multiply	By
In./yr	1000
In./month	12.100
Mg/dm ² /day (mdd)	1.44/specific gravity

Mils Penetration per year (mpy) merupakan satuan paling umum yang digunakan untuk menggambarkan laju korosi di United States (Fontana, 1986).

Tabel 2. 6 Perbandingan mils pernetration per year dengan *equivalent matric-rate expressions* (Fontana, 1986)

Relative corrosion resistance	mpy	Approximate metric equivalent			
		mm/yr	µm/yr	nm/hr	pm/sec
Outstanding	< 1	< 0.02	<25	<2	<1
Excellent	1-5	0.02-0.1	25-100	2-10	1-5
Good	5-20	0.1-0.5	100-500	10-50	5-20
Fair	20-50	0.5-1	500-1000	50-150	20-50
Poor	50-200	1-5	1000-5000	150-500	50-200
Unacceptable	200 +	5 +	5000 +	500 +	200 +

2.7 Penelitian Sebelumnya

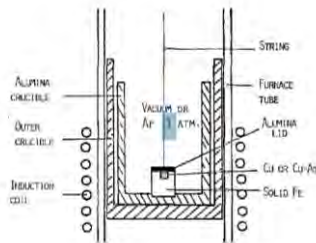
2.7.1 The Interaction of Molten Copper into Solid Iron

Penelitian ini mengenai pengaruh interaksi antara tembaga cair atau tembaga-perak cair dengan besi padat yang kemungkinan terjadi migrasi antara logam cair ke logam padat bahkan mungkin terjadi *dissolution* antar logam padat ke dalam



logam cair, interaksi yang di berikan mirip dengan proses pengelasan, hot galvanizing, brazing dan peleburan metal , pada penelitian ini mikrostruktur dan reaksi antar tembaga cair dan solid baja akan di perhitungkan, mekanisme perpindahan yang terjadi antar tembaga cair ke dalam besi padat melalui terbentuknya penetrasi batas butir..

Besi didapat dengan meleburkan baja dengan kandungan 4,4 wt% karbon pada temperature 1650°C, untuk sampel logam cair menggunakan tembaga dengan kadar 99,9 wt% dan perak komersial 99,98 wt% kemudian di lelehkan secara vakum di wadah alumina dengan temperatur 1300. Proses terjadi dengan menuangkan tembaga cair pada silinder besi kemudian di tahan selama 0- 60 menit dengan teperatur tungku 1200 dan 1300 pada keadaan vakum, vakum di hasilkan dengan menambahkan argon 0.1 MPa.



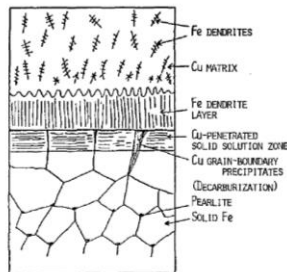
Gambar 2. 27 Tes reaksi antar leburan paduan Cu-Ag di baja silinder. (Ishida, 1986)

Dari hasil reaksi di dapat 3 kemungkinan yaitu :

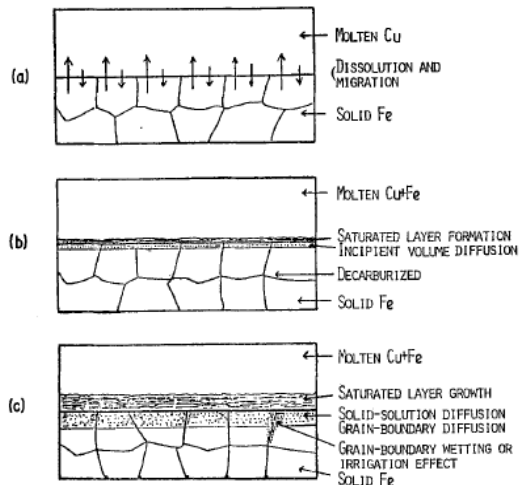
1. Tercipta volume baru yang langsung terjadi akibat difusi, logam cair langsung berdifusi pada logam padat sepanjang permukaan.
2. *Grain boundry diffusion*, logam cair berdifusi ke logam padat sepanjang batas butir, setelah batas butir terjadi atom bermigrasi dari batas butir menuju ke *lattice* logam padat



3. *Grain boundary penetration*, logam cair berdifusi ke batas butir dari logam dasar, difusi batas butir dan rekasi paduan terjadi pada cairan/interface solid yang memiliki energy permukaan bebas yang penetrasi ke batas butir hingga ke dalam dasar logam



Gambar 2. 28 Skema interaksi antara logam cair dan logam padat (Ishida, 1986)



Gambar 2. 29 proses yang terjadi pada cairan tembaga dan besi padat (Ishida, 1986)

Kesimpulan yang di dapat adalah Mikrostruktur antar muka Cu/Fe terdiri dari dendrit besi dalam matriks tembaga,



lapisan dendrit dan zona tembaga tembus di antar muka, dan batas butir presipitat dan dekarburasi di bagian dalam besi padat pada temperature rendah, efek irigasi dan batas butir penetrasi diamati secara parsial.

Menghambatnya reaksi di akibatkan penambahan perak bebentuk cair di antarmuka. Migrasi tembaga cair menjadi besi terjaditerutama oleh pembentukan dan pertumbuhan saturasi besi Lapisan karena pelarutan besi di cair tembaga dan zona larutan padat tembaga-ditembus karena difusi volume yang baru jadi. Ketebalan lapisan tembaga-ditembus terbentuk selama reaksi berikut kinetika parabola dan penetrasi tampaknya terutama didominasi oleh difusi volume pada suhu tinggi dan oleh kedua volume dan batas-butir difusi pada suhu rendah. Peningkatan kadar perak di tembaga cair menghambat laju penetrasi konstan.

2.7.2 Effect of Copper on the Corrosion Properties of Low-Alloy Steel in an Acid Chloride

Percobaan ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh yang diberikan oleh tembaga pad baja *low carbon steel* tdalam lingkungan asam klorida, material yang di gunakan sesuai dengan table 2.6 , pengujian ketahanan korosi diselidki dengan metode elektrokimia, seperti tes polarisasi potensio dinamik (tafel) dan *Elektrokimia impedansi spektroskopi* (EIS), kemudian analisa XPS dari permukaan berkarat .

Tabel 2. 7 Material uji (Jang, 2009)

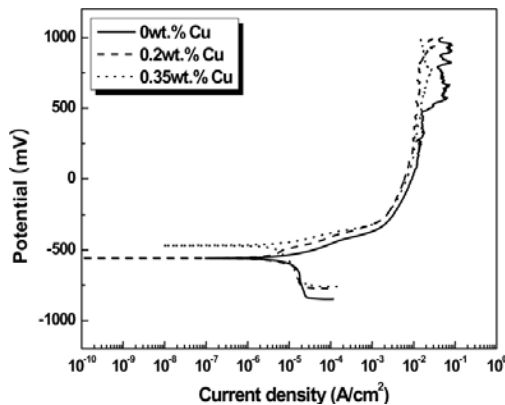
Specimen	Composition (wt.%)						
	Fe	C	Si	Mn	P	S	Cu
0 wt.% Cu	balance	0.07	0.25	0.7	0.01	0.012	-
0.2 wt.% Cu	balance	0.07	0.25	0.7	0.01	0.012	0.2
0.35 wt.% Cu	balance	0.07	0.25	0.7	0.01	0.012	0.35

Lingkungan yang digunakan adalah lingkungan hujan asam dengan pH < 5.6, elektrolit yang digunakan dari air suling pH 4 (6.25×10^{-5} M H_2SO_4) dengan penambahan 200 ppm Cl^{-1}



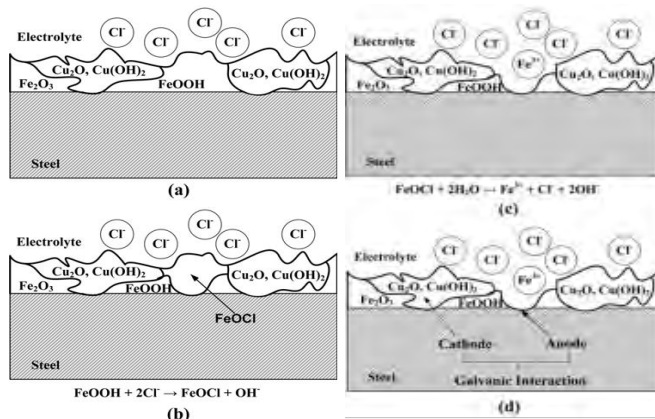
(5.5×10^{-3} M NaCl), untuk pengujian potensial dynamic menggunakan scan rate 0.166 mV/s dengan -250 mV hingga +1000 mV, dan untuk pengujian EIS dengan frekuensi 10 mHz hingga 100 kHz. Dengan AC amplitude 20 mV

Pada percobaan polarisasi didapatkan hasil terjadi penurunan kecepatan korosi semakin bertambahnya kadar tembaga dalam *low carbon steel*



Gambar 2. 30 Pengujian potentiodynamic polarization test (Jang, 2009)

Pada percobaan ini di dapatkan bahwa permukaan baja paduan rendah dalam lingkungan hujan asam, mengalami pembubaran selektif konstituen lebih aktif, karena akumulasi Cu di permukaan, akumulasi senyawa Cu meningkatkan korosi seragam yang terjadi, ketahanan *low carbon steel* dengan menekan pembubaran aktif, namun jika melihat morfologi permukaan berkarat peningkatan terhadap ketahanan korosi seragam memang terjadi namun mempengaruhi peningkatan terhadap *pitting* korosi akibat bertambahnya Cu.



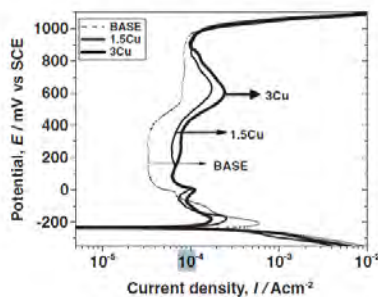
Gambar 2. 31 Proses korosi yang terjadi di permukaan baja dengan pengaruh tembaga. (Jang, 2009)

2.7.3 Effect of Copper Addition on the Active Corrosion Behavior of Hyper Duplex Stainless Steels in Sulfuric Acid

Pengujian untuk mengetahui pengaruh dari penambahan tembaga pada *Duplex Stainless Steels* dalam lingkungan asam sulfur, pengujian korosi menggunakan test *potensialdynamic polarization* pada lingkungan 6.34 N H_2SO_4 pada temperature 353 K.

Tabel 2. 8 Composisi material uji (Seob lee, 2008)

Alloys	C	Cr	Ni	Mo	W	N	Mn	Si	S	Cu
BASE	0.020	27.36	7.11	2.59	3.38	0.31	1.45	0.31	0.004	0.19
1.5Cu	0.017	26.91	6.59	2.50	3.30	0.38	0.94	0.34	0.005	1.45
3Cu	0.018	26.84	6.42	2.51	3.30	0.36	0.96	0.33	0.005	3.06

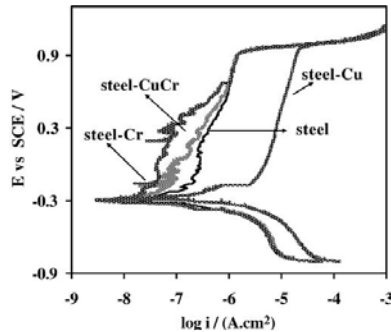


Gambar 2. 32 Kurva Potentiodynamic polarization *Duplex Stainless steels* pada Larutan H_2SO_4 (lee, 2008)

Penambahan Cu pada paduan dasarnya sangat meningkatkan ketahanan korosi dengan mengurangi kritikal kepadatan arus (I_c) dan kepadatan arus (I_{corr}), dan meningkatkan ketahanan polarisasi (R_p), efek ini berada pada logam Cu murni, dengan penambahan Cu akan membentuk laju korosi yang mirip mekanisme perlingingannya dengan logam Cu murni. (lee, 2008)

2.7.4 The Influence of Copper and Chromium on The Semiconducting Behaviour of Passive Films Formed on Weathering Steels.

Penelitian mengenai pengaruh penambahan sejumlah kecil elemen paduan Cu (0,36% Cu dan 0,47% Cr) pada sifat semikonduktor dari passive film yang terbentuk pada *Weathering Steel* dalam lingkungan tetraborat/ larutan penyangga (pH 9,2) atau lingkungan atmosfer buatan SO_2 , Perilaku elektrokimia dinilai dengan polarisasi potensiodinamik, pengukuran kapasitansi dan photoelectrochemistry, karakterisasi kimia dari film dilakukan oleh *Auger spektrokopi elektron*.



Gambar 2. 33 Kurva Potentiodynamic polarization *weathering steel* pada lingkungan SO_2 (Guedes, 2006)

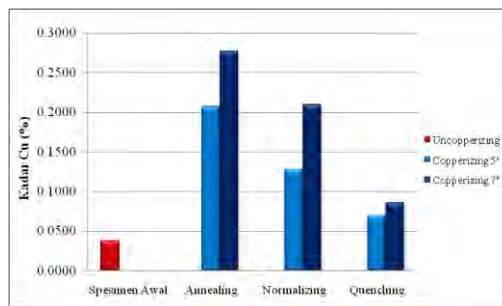
Hasil polarisasi yang diperoleh dalam *buffer solution* meunjukkan bahwa penambahan kromium mengurangi kepadatan arus pasif, hasil kapasitasi meunjukkan bahwa film berperilaku sebagai N-tipe semikonduktor dengan tingkat donor yang sedikit dan dalam, terletak pada bagian celah, kehadiran tembaga mungkin mempengaruhi kepadatan dangkalan dan dati tingkat donor jauh kedalam celah, dan kromium juga menurunkan kepadatan doping dalam kasus film terbentuk di SO_2^{-2} , penambahan tembaga dan kromium pada baja karbon tidak mempengaruhi gab energy pada pita passive film. (Guedes, 2006)

2.7.5 Effects Of Shortimmersing Times And Cooling Rates Of Copperizing Process On The Evolution Microstructure And Copper Behavior In Dead Mild Steel

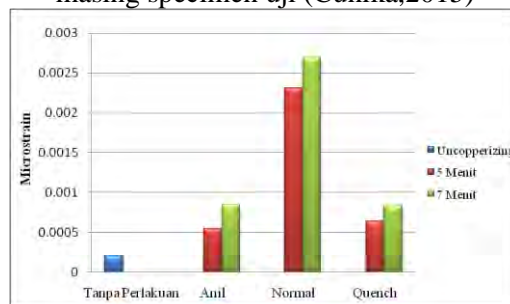
Pada penelitian ini bertujuan untuk menganalisis perubahan mikrostruktur dan perilaku tembaga pada baja AISI 1006 meliputi fase yang terbentuk, komposisi, dan persebaran Cu. Metode penambahan tembaga yang digunakan dengan mencelupkan baja ke dalam tembaga cair atau yang disebut metode *copperizing* menggunakan prinsip difusi. Spesimen



dipotong dengan dimensi 6x3x0,3cm. Kemudian dilakukan pemanasan awal pada temperatur 900°C dan proses peleburan tembaga pada temperatur 1100°C. Dilanjutkan proses pencelupan spesimen ke tembaga cair dengan waktu *immerse* 5 dan 7 menit, dan variasi laju pendinginan menggunakan *annealing*, *normalizing*, dan *quenching*. Setelah itu dilakukan pengujian struktur mikro, SEM EDX untuk analisis topografi dan persebaran Cu, OES untuk mengetahui komposisi kimia, dan XRD untuk identifikasi fase dan *microstrain*.



Gambar 2. 34 Grafik perbandingan komposisi tembaga masing masing specimen uji (Cunika,2015)



Gambar 2. 35 Grafik perbandingan microstrain specimen uji sebelum dan setelah copperizing berdasarkan hasil XRD (Cunika,2015)

Hasil pengujian menunjukkan semakin lama waktu celup dan laju pendinginan, semakin banyak kadar Cu yang berdifusi



yang menyebabkan luas ukuran butir mengecil yaitu dengan kadar Cu tertinggi yang berdifusi sebesar 0.277% pada baja AISI 1006 *copperizing* 7 menit pendinginan *annealing* yang menyebabkan luas ukuran butir mengecil hingga sebesar $11114.6622 \mu\text{m}^2$. Pada spesimen dengan pendinginan anil memperlihatkan fase ferit dan pada pendinginan normal memperlihatkan fase poligonal ferit, sedangkan pada pendinginan *quench* memperlihatkan fase granular bainit. Pada spesimen *copperizing* dengan pendinginan normal dan *quench* menunjukkan bahwa Cu larut seluruhnya didalam kristal Fe membentuk *solid solution*. (Cunika,2015)

BAB III METODOLOGI

3.1 Alat dan Bahan Penelitian

3.1.1 Bahan-bahan Penelitian

1. Plat baja AISI 1006
2. Tembaga murni
3. Air
4. Larutan etsa Nital (HNO_3 dan methanol)
5. Resin
6. Katalis
7. Autosol atau Alumina
8. Larutan Elektrolit
9. Larutan Pickling (HCl 0.5 M)

3.1.2 Alat-alat Penelitian

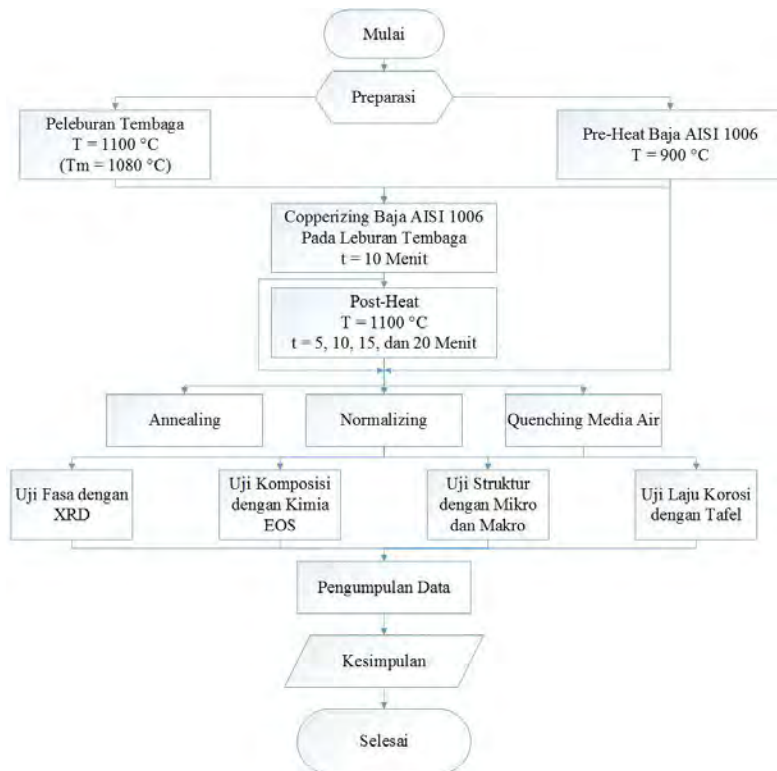
1. *Cutting tool*
Digunakan untuk memotong tembaga murni, sampel awal (baja AISI 1006), dan hasil copperizing untuk pengujian metalografi, kekerasan, SEM/EDX, XRD dan EOS.
2. *Muffle furnace*
Digunakan untuk memanaskan baja AISI 1006 dan mencairkan tembaga.
3. *Crusibel Grafit*
Digunakan sebagai wadah tembaga saat dileburkan dan tempat *copperizing*.
4. Alat bor
Digunakan untuk melubangi sampel yang di-*copperizing*.
5. Ember
Digunakan sebagai wadah air untuk *water quench*.
6. Pipa PVC
Digunakan sebagai cet sampel uji metalografi saat *mounting*.
7. Kertas Amplas Grade 600, 800, 1000, 1500, dan 2000



-
- Digunakan untuk *grinding* sampel saat preparasi sampel untuk uji metalografi.
8. Penjepit Logam
Digunakan untuk mengambil sampel yang telah di-*copperizing*.
 9. Mikroskop Optik Metallurgy
Digunakan untuk mengamati struktur mikro dari specimen control dan sampel *copperizing*
 10. Mikroskop Stereo
Digunakan untuk mengamati struktur makro dari specimen kontrol dan sampel hasil *copperizing*.
 11. PH Meter
Digunakan untuk mengukur nilai keasaman pada larutan.
 12. Jangka Sorang
Digunakan untuk mengukur panjang spesimen uji.
 13. Alat uji SEM/EDX
Digunakan untuk mengetahui topografi permukaan sampel dan kadar tembaga pada berbagai kedalaman sampel.
 14. Alat uji XRD
Digunakan untuk mengetahui fasa yang terbentuk sebelum dan sesudah proses *aging*.
 15. Alat uji EOS.
Digunakan untuk mengukur komposisi unsur-unsur pada sampel sebelum dan sesudah *aging*.
 16. Alat uji Polarisasi Tafel
Digunakan untuk mengukur polaisasi dan laju korosi dari specimen.
 17. Timbangan Digital
Digunakan untuk mengukur berat larutan dan massa untuk membuat larutan elektrolit
-



3.2 Diagram Alir



Gambar 3. 1 Diagram alir penelitian

3.3 Prosedur Penelitian

3.3.1 Preparasi Sampel

Preparasi sampel meliputi pemotongan baja AISI 1006 untuk *copperizing* dan spesimen kontrol. Sampel untuk *copperizing* dipotong dengan dimensi 75x30x3 mm, dan permukaannya dibersihkan dengan kertas amplas. Spesimen kontrol dipotong untuk pengujian metalografi, kekerasan, dan Optical Emission Spectroscopy (EOS).



3.3.2 Preparasi Tembaga

Preparasi tembaga meliputi pemotongan tembaga murni untuk selanjutnya dipanaskan hingga mencapai temperatur leburnya dan siap di gun untuk proses *copperizing*. Tembaga di potong menyesuaikan kapasitas dari *crusibel graphite*.

3.3.3 Preparasi Larutan Elektrolit

Larutan elektrolit yang digunakan adalah larutan Aquades dengan Ph 4 (6.25×10^{-5} M H_2SO_4) dengan kandungan 200 ppm Cl^- (5.5×10^{-3} M NaCl). Berikut merupakan langkah untuk membuat larutan tersebut.

1. Menimbang larutan H_2SO_4 dengan konsentrasi 98.8% seberat 0.006125 gr
2. Melarutkan H_2SO_4 kedalam aquades hingga Ph mencapai 4
3. Menimbang Solid Nacl sebanyak 0.321 gr
4. Melarutkan NaCl ke dalam gelas braker berisi larutan H_2SO_4

3.3.4 Peleburan Tembaga

Peleburan tembaga merupakan pemanasan logam tembaga yang berkadar kemurnian 99,97% hingga mencapai temperatur leburnya, tembaga yang dileburkan sekitar 1,5 kg, peleburan dilakukan di *crucible graphite* yang berdimensi 97x79x56 mm. Peleburan tembaga dilakukan pada *muffle furnace* pada temperature 1100°C diatas temperature lebur tembaga 1080°C selama

3.3.5 Pre Heat Spesimen

Proses *pre heat* dilakukan setelah preparasi baja AISI 1006 dilaksan, baja di *pre heat* pada temperature 900°C di dalam *muffle furnace*. Proses ini untuk mendapatkan fasa Austenite yang memiliki kemampuan untuk melarutkan unsur paduan lebih tinggi dari fase ferrite sehingga tembaga dapat dengan mudah berdifusi



3.3.6 Proses *Copperizing*

Proses *Copperizing* merupakan proses pencelupan baja AISI 1006 yang telah di panaskan pada temperatur 900°C ke dalam tembaga yang telah di leburkan pada temperatur 1100°C di dalam *muffle furnace* dan dalam keadaan *liquid*, proses pencelupan dilakukan selama 10 menit untuk memberi waktu tembaga berdifusi ke dalam baja AISI 1006

Perhitungan kedalaman difusi *Copperizing* (Astuti, 2008)

$$X = \sqrt{D \cdot t} \quad (3.1)$$

Dimana : X = tebal lapisan
D = koefisien difusi (t = 1100 °C maka 0.59 x 10⁻⁶) (R.R Hough, 1971)
t = waktu proses

$$X = \sqrt{0.59 \times 10^{-6} \times 600} = 1.88 \times 10^{-2} \text{ cm} = 0.0188 \text{ cm}$$

Tabel 3. 1 Perhitungan kedalam difusi tembaga

Waktu <i>Copperizing</i> (s)	Kedalaman (cm)
600	0.0188
Waktu <i>Copperizing</i> + Post Heat	Kedalaman (cm)
300	0.0321
600	0.0376
900	0.0418
1200	0.0454

3.3.7 *Post Heat* Spesimen

Proses *post heat* dilakukan setelah proses *copperizing*, proses ini mengangkat baja AISI 1006 dari pencelupan dengan tembaga kemudian di tahan pada temperature lebur tembaga 1100°C, penahanan dilakukan dalam *muffle furnace*. Lama waktu penahanan divariasikan untuk mengetahui pengaruhnya yaitu pada 5, 10, 15 dan



20 menit. Setelah mencapai waktu pencelupan yang ditentukan, specimen diangkat menggunakan penjepit logam dan kemudian didinginkan. Rancangan penelitian untuk variasi waktu *post heat* dapat dilihat pada table 3.2

Tabel 3. 2 Rancangan Percobaan

Temperature <i>Post Heat</i>	Waktu tahan <i>Post Heat</i>	Pendinginan
1100°C	5 menit	Normalizing
	10 menit	
	15 menit	
	20 menit	
	5 menit	Quenching
	10 menit	
	15 menit	
	20 menit	
	5 menit	Annealing
	10 menit	
	15 menit	
	20 menit	

Pengujian *Copperizing* baja AISI 1006 dengan waktu celup 5 menit dan pendinginan udara menghasilkan lapisan tembaga di permukaan baja dengan ketebalan (X) 141.21 μm (Anggia, 2016). Perkiraan waktu dapat di perhitungkan dengan menggunakan penentuan kedalaman difusi , sehingga di dapat. :

$$X = \sqrt{Dt} ; \text{ maka } t = \frac{X^2}{D} \quad t = \frac{(141.21 \times 10^{-4})^2 \text{ cm}}{0.59 \times 10^{-6}}$$

$$t = 337.97 \text{ s} = 5.63 \text{ menit}$$



3.3.8 Pendinginan Normalizing

Proses pendinginan *normalizing* meliputi perlakuan panas dengan mendinginkan specimen dengan kecepatan yang cukup cepat, pendinginan dilakukan setelah proses *post heat* kemudian specimen dibiarkan di udara bebas.

3.3.9 Pendinginan Quenching

Proses pendinginan *quenching* meliputi perlakuan panas dengan mendinginkan specimen dengan kecepatan yang sangat cepat, pendinginan dilakukan setelah proses *post heat* kemudian specimen dicelupkan kedalam media pendingin, media yang digunakan adalah air.

3.3.10 Pendinginan Annealing

Proses pendinginan *annealing* meliputi perlakuan panas dengan memanaskan specimen pada temperatur tertentu kemudian didinginkan dengan kecepatan yang lambat, pendinginan dilakukan setelah proses *post-heat*. Pendinginan lambat dilakukan didalam *furnace*

3.4 Pengujian

Pengujian dilakukan untuk mengetahui kondisi specimen setelah dilakukannya proses *copperizing* dan membandingkan pengaruh dari waktu *post heat* dan *cooling rate* terhadap baja AISI 1006, pengujian meliputi pengujian fasa menggunakan XRD, pengujian komposisi menggunakan EOS, pengujian topografi dengan SEM/EDX, pengujian struktur mikro/makro menggunakan mikroskop optic metalurgi, dan pengujian laju korosi dengan metode *weight loss* serta polarisasi tafel. Pengujian di lakukan banyak 3 kali, pertama data baja AISI 1006 di *pre heat* kemudian dilakukan variasi pendinginan berjumlah 3 spesimen, kedua data baja AISI 1006 di *pre heat* setelah itu proses *copperizing* kemudian dilakukan variasi pendinginan berjumlah 3 spesimen dan terakhir data baja AISI 1006 di *pre heat* setelah itu di *copperizing* dilanjutkan *post heat* dengan waktu berbeda



kemudian dilakukan variasi pendinginan berjumlah 12 spesimen.

3.4.1 Pengujian Fasa Dengan XRD

Pengamatan karakteristik material dilakukan pengujian spesimen AISI 1006 dengan menggunakan *X-ray Diffraction* (XRD) di Jurusan Teknik Material dan Metalurgi ITS, dengan XRD dapat mengidentifikasi unsur tunggal atau senyawa yang terbentuk dan menentukan kandungan komposisi atau fasa dalam specimen setelah proses *copperizing*, *post heat* dan pendinginan.

3.4.2 Pengujian Komposisi Dengan EOS

Pengujian komposisi dilakukan untuk mengamati prosentase kandungan tembaga yang berdifusi ke specimen baja AISI 1006 setelah mengalami proses *copperizing*, *post heat* dan pendinginan. Di lakukan di Laboratorium DT & NDT, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya menggunakan alat Foundry Master Pro.

3.4.3 Pengujian Struktur Mikro

Pengujian struktur mikro dilakukan dengan mikroskop optic metalirgu Olympus BX51M-RF di Laboratorium Metalurgi Jurusan Teknik Material dan Metalurgi ITS. Bertujuan untuk mengetahui mengetahui perbandingan struktur mikro setelah proses *copperizing* .

3.4.4 Pengujian Struktur Makro

Pengujian strktur micro dilakukan dengan mikroskop stereo di Laboratorium Metalurgi Jurusan Teknik Material dan Metallurgy bertujuan untuk mengamati keberadaan lapisan tembaga pada permukaan sampel.

3.4.5 Pengujian Polarisasi Tafel

Pengujian polarisasi tafel menggunakan alat Autolab PGT84270, pada pengujian ini baja AISI 1006 di preparasi kembali menjadi 30x10x1 mm kemudian dicelupkan ke larutan elektrolit sebesar luasan permukaan terbuka 10x10 mm, Pada logam yang kontak dengan medium korosif mengakibatkan adanya reaksi reduksi



dan oksidasi pada logam tersebut, pada logam terbentuk situs-situs mikrosel katodik maupun mikrosel anodik sehingga dihasilkan arus, baik dari katodik maupun anodik. Arus yang terjadi menghasilkan potensial yang disebut potensial korosi *E_{corr}*, dimana potensial daerah anoda sama dengan potensial daerah katoda. Pengujian korosi dilaksanakan pada specimen baja AISI 1006 yang *copperizing* dengan perbedaan *post heat* dan *cooling rate* dalam perlakuannya dalam lingkungan air pH 4 (6.25×10^{-5} M H_2SO_4) yang mengandung 200 ppm Cl^- (5.5×10^{-3} M NaCl). Pengujian ini dilakukan di Laboratorium Elektrokimia dan Korosi Jurusan Teknik Kimia ITS.

Tabel 3. 3 Parameter Pengujian Tafel

Elektrode Kerja	AISI 1006
<i>Equivalent Weight Fe (g)</i>	55.845
<i>Equivalent Weight Cu (g)</i>	63.546
Densitas Fe (g/ml)	7.86
Densitas Cu (g/ml)	8.96
<i>Counter Electrode</i>	Platina
<i>Reference Electrode</i>	SCE
<i>Scan Rate (mV/s)</i>	0.2
<i>Start Potential (mV)</i>	-1000
<i>Finish Potential (mV)</i>	+1000

3.5 Rancangan Tabel Pengambilan Data Penelitian

Untuk memudahkan dalam mengelolah dan menganalisa data yang didapat, maka dibuat rancangan percobaan sebagai berikut :

**Tabel 3. 4** Tabel Pengujian Polarisasi Tafel

<i>Cooling Rate</i>	<i>Post Heat Time</i>	ba (mV/d ec)	bc (mV/d ec)	Ec <i>orr</i> (mV)	Icorr (mV)	Laju Korosi	
						(mm/yr)	(mpy)
Normalizing	5"						
	10"						
	15"						
	20"						
Quenching	5"						
	10"						
	15"						
	20"						
Annealing	5"						
	10"						
	15"						
	20"						

Tabel 3. 5 Pengujian EOS

Unsur	Komposisi (Ave.wt%)
Fe	-
C	-
Si	-
Mn	-
Cu	-
Ni	-

**Tabel 3. 6** Kebutuhan Spesimen

No	Perlakuan	Post Heat	Pendinginan	Jumlah
1	-	-	Annealing	1
			Normalizing	1
			Quenching	1
2	Copperizing	-	Annealing	1
			Normalizing	1
			Quenching	1
3	Copperizing	5'	Annealing	1
			Normalizing	1
			Quenching	1
		10'	Annealing	1
			Normalizing	1
			Quenching	1
		15'	Annealing	1
			Normalizing	1
			Quenching	1
		20'	Annealing	1
			Normalizing	1
			Quenching	1



(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

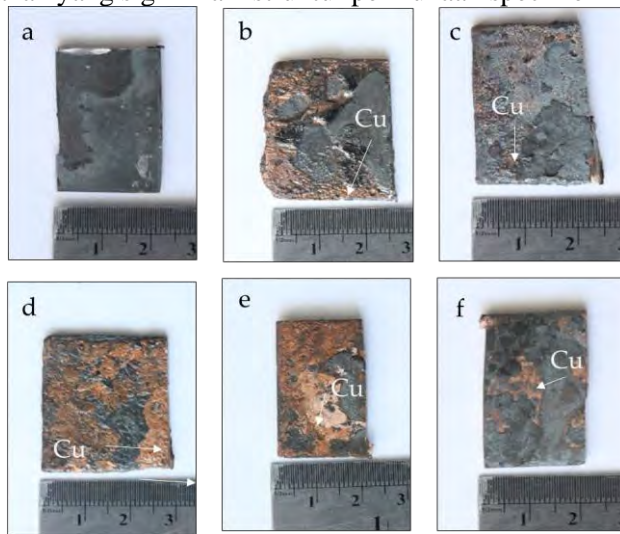
4.1 Hasil Proses Copperizing

4.1.1 Analisis Permukaan Spesimen *Copperizing* variasi *post-heat* dengan pendinginan *normalizing*

Pengambilan gambar visual bertujuan untuk mengetahui tampak permukaan Baja AISI 1006 setelah proses *Copperizing* dengan variasi *post-heat* dan laju pendinginan, Gambar 4.1 (a) merupakan gambar spesimen baja AISI 1006 yang *dipre-heat* namun tanpa proses *Copperizing* dan *post-heat*, kemudian didinginkan dengan menggunakan metode *normalizing* yang selanjutnya disebut spesimen *Normalizing*. Gambar 4.1 (b) merupakan gambar spesimen Baja AISI 1006 yang *dipre-heat* kemudian dilakukan proses *Copperizing* tanpa *post-heat* kemudian didinginkan dengan metode *normalizing* yang selanjutnya disebut spesimen *Cop Normal*, pada permukaan terlihat lapisan tembaga yang kemerahan dan oksida berwarna hitam. Gambar 4.1 (c) merupakan gambar spesimen Baja AISI 1006 yang *dipre-heat* kemudian dilakukan proses *Copperizing* dilanjutkan *post-heat* dengan variasi waktu tahan 5 menit, kemudian didinginkan dengan menggunakan metode *normalizing* yang selanjutnya disebut spesimen *Cop PH 5 N*, pada permukaan terlihat lapisan tembaga yang berwarna kemerahan dan oksida yang berwarna kehitaman. Gambar 4.1 (d) merupakan gambar spesimen Baja AISI 1006 yang *dipre-heat* kemudian dilakukan proses *Copperizing* dilanjutkan *post-heat* dengan variasi waktu tahan 10 menit, kemudian didinginkan dengan menggunakan metode *normalizing* yang selanjutnya disebut spesimen *Cop PH 10 N*, pada permukaan terlihat lapisan tembaga yang berwarna kemerahan dan oksida yang berwarna kehitaman. Gambar 4.1 (e) merupakan gambar spesimen Baja AISI 1006 yang *dipre-heat* kemudian dilakukan proses *Copperizing* dilanjutkan *post-heat* dengan variasi waktu tahan 15 menit, kemudian didinginkan dengan menggunakan metode *normalizing* yang selanjutnya



disebut spesimen *Cop PH 15 N*, pada permukaan terlihat lapisan tembaga yang berwarna kemerahan dan oksida yang berwarna kehitaman. Gambar 4.1 (f) merupakan gambar spesimen Baja AISI 1006 yang *dipre-heat* kemudian dilakukan proses *Copperizing* dilanjutkan *post-heat* dengan variasi waktu tahan 20 menit, kemudian didinginkan dengan menggunakan metode *normalizing* yang selanjutnya *Cop PH 20 N*, pada permukaan terlihat lapisan tembaga yang berwarna kemerahan dan oksida yang berwarna kehitaman, dapat disimpulkan pada proses *Copperizing* akan menghasilkan permukaan tembaga yang berwarna kemerahan dan oksida yang berwarna kehitaman dimana dengan penambahan variasi *post-heat* tidak terlihat perubahan yang signifikan struktur permukaan specimen



Gambar 4. 1 Hasil pengambilan gambar visual baja AISI 1006 setelah proses *Copperizing* (a) *Normalizing* (b) *Cop Normal* (c) *Cop PH 5 N* (d) *Cop PH 10 N* (e) *Cop PH 15 N* (f) *Cop PH 20 N* laju pendinginan *normalizing*

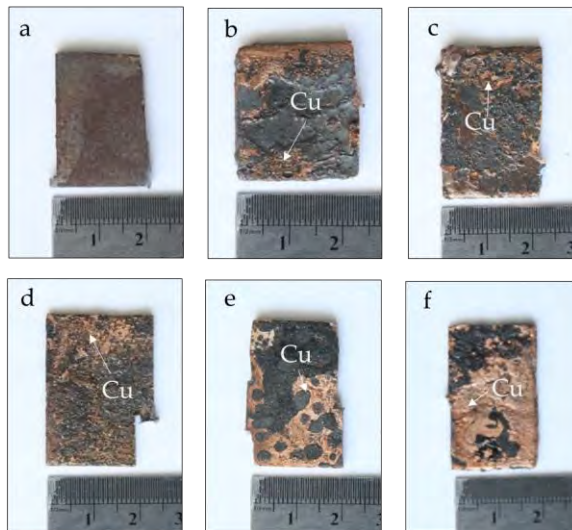
4.1.2 Analisis Permukaan Spesimen *Copperizing* variasi *post-heat* dengan pendinginan *Quenching*



Pengambilan gambar visual baja AISI 1006 juga diambil pada proses *Copperizing* dengan variasi *post-heat* dilanjutkan dengan pendinginan metode *quenching*, Gambar 4.2 (a) merupakan gambar spesimen Baja AISI 1006 yang *dipre-heat* namun tanpa proses *Copperizing* dan *Post-heat*, kemudian didinginkan dengan menggunakan metode *quenching* yang selanjutnya disebut spesimen *Quenching*. Gambar 4.2 (b) merupakan gambar spesimen Baja AISI 1006 yang *dipre-heat* kemudian dilakukan proses *Copperizing* tanpa *post-heat* kemudian didinginkan dengan metode *quenching* yang selanjutnya disebut spesimen *Cop Quenching*, pada permukaan terlihat lapisan tembaga yang kemerahan dan oksida berwarna kehitaman. Gambar 4.2 (c) merupakan gambar spesimen Baja AISI 1006 yang *dipre-heat* kemudian dilakukan proses *Copperizing* dilanjutkan *post-heat* dengan variasi waktu tahan 5 menit, kemudian didinginkan dengan menggunakan metode *quenching* yang selanjutnya disebut spesimen *Cop PH 5 Q*, pada permukaan terlihat lapisan tembaga yang berwarna kemerahan dan oksida yang berwarna kehitaman. Gambar 4.2 (d) merupakan gambar spesimen Baja AISI 1006 yang *dipre-heat* kemudian dilakukan proses *Copperizing* dilanjutkan *post-heat* dengan variasi waktu tahan 10 menit, kemudian didinginkan dengan menggunakan metode *quenching* yang selanjutnya disebut spesimen *Cop PH 10 Q*, pada permukaan terlihat lapisan tembaga yang berwarna kemerahan dan oksida yang berwarna kehitaman. Gambar 4.2 (e) merupakan gambar spesimen Baja AISI 1006 yang *dipre-heat* kemudian dilakukan proses *Copperizing* dilanjutkan *post-heat* dengan variasi waktu tahan 15 menit, kemudian didinginkan dengan menggunakan metode *quenching* yang selanjutnya disebut spesimen *Cop PH 15 Q*, pada permukaan terlihat lapisan tembaga yang berwarna kemerahan dan oksida yang berwarna kehitaman. Gambar 4.2 (f) merupakan gambar spesimen Baja AISI 1006 yang *dipre-heat* kemudian dilakukan proses *Copperizing* dilanjutkan *post-heat* dengan variasi waktu tahan 20 menit, kemudian didinginkan dengan



menggunakan metode *quenching* yang selanjutnya disebut spesimen *Cop PH 20 Q*, pada permukaan terlihat lapisan tembaga yang berwarna kemerahan dan oksida yang berwarna kehitaman. dapat disimpulkan pada proses *Copperizing* akan menghasilkan permukaan tembaga yang berwarna kemerahan dan oksida yang berwarna kehitaman dimana dengan penambahan variasi *post-heat* tidak terlihat perubahan yang signifikan struktur permukaan specimen



Gambar 4. 2 Hasil pengambilan gambar visual baja AISI 1006 setelah proses *Copperizing* (a) *Quenching* (b) *Cop Quench* (c) *Cop PH 5 Q* (d) *Cop PH 10 Q* (e) *Cop PH 15 Q* (f) *Cop PH 20 Q* laju pendinginan *quenching*

4.1.3 Analisis Permukaan Spesimen *Copperizing* variasi *post-heat* dengan pendinginan *Annealing*

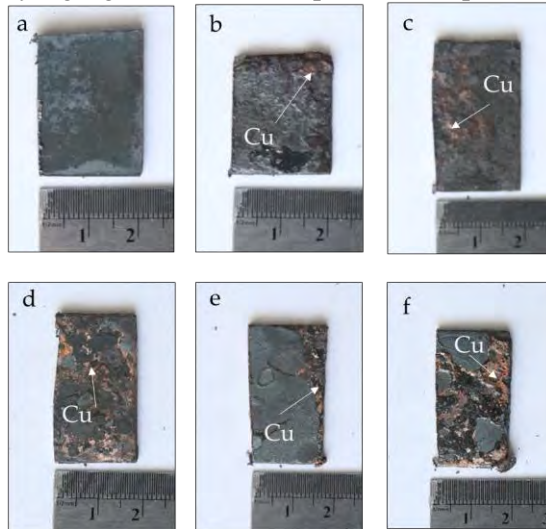
Selanjutnya pengambilan gambar visual dilakukan pada baja AISI 1006 dengan proses *Copperizing* dilanjutkan dengan *post-heat* dan didinginkan menggunakan metode *annealing*, Gambar 4.3 (a) merupakan gambar spesimen Baja AISI 1006 yang *dipre-heat* namun tanpa proses *Copperizing* dan *post-heat*,



kemudian didinginkan dengan menggunakan metode *Annealing* yang selanjutnya disebut specimen *Annealing*. Gambar 4.3 (b) merupakan gambar specimen Baja AISI 1006 yang *dipre-heat* kemudian dilakukan proses *Copperizing* tanpa *post-heat* kemudian didinginkan dengan metode *Annealing* yang selanjutnya disebut specimen *Cop Anneal*, pada permukaan terlihat lapisan tembaga yang kemerahan dan oksida berwarna hitam. Gambar 4.3 (c) merupakan gambar specimen Baja AISI 1006 yang *dipre-heat* kemudian dilakukan proses *Copperizing* dilanjutkan *post-heat* dengan variasi waktu tahan 5 menit, kemudian didinginkan dengan menggunakan metode *Annealing* yang selanjutnya disebut specimen *Cop PH 5 A*, pada permukaan terlihat lapisan tembaga yang berwarna kemerahan dan oksida yang berwarna kehitaman. Gambar 4.3 (d) merupakan gambar specimen Baja AISI 1006 yang *dipre-heat* kemudian dilakukan proses *Copperizing* dilanjutkan *post-heat* dengan variasi waktu tahan 10 menit, kemudian didinginkan dengan menggunakan metode *Annealing* yang selanjutnya disebut specimen *Cop PH 10 A*, pada permukaan terlihat lapisan tembaga yang berwarna kemerahan dan oksida yang berwarna kehitaman. Gambar 4.3 (e) merupakan gambar specimen Baja AISI 1006 yang *dipre-heat* kemudian dilakukan proses *Copperizing* dilanjutkan *post-heat* dengan variasi waktu tahan 15 menit, kemudian didinginkan dengan menggunakan metode *Annealing* yang selanjutnya disebut specimen *Cop PH 15 A*, pada permukaan terlihat lapisan tembaga yang berwarna kemerahan dan oksida yang berwarna kehitaman. Gambar 4.3 (f) merupakan gambar specimen Baja AISI 1006 yang *dipre-heat* kemudian dilakukan proses *Copperizing* dilanjutkan *post-heat* dengan variasi waktu tahan 20 menit, kemudian didinginkan dengan menggunakan metode *Annealing* yang selanjutnya disebut specimen *Cop PH 20 A*, pada permukaan terlihat lapisan tembaga yang berwarna kemerahan dan oksida yang berwarna kehitaman, dapat disimpulkan pada proses *Copperizing* akan menghasilkan permukaan tembaga yang berwarna kemerahan dan oksida yang berwarna kehitaman



dimana dengan penambahan varisi post-heat tidak terlihat perubahan yang signifikan struktur permukaan specimen.



Gambar 4. 3 Hasil pengambilan gambar visual baja AISI 1006 setelah proses *Copperizing* (a) *Annealing* (b) *Cop Anneal* (c) *Cop PH 5 A* (d) *Cop PH 10 A* (e) *Cop PH 15 A* (f) *Cop PH 20 A* laju pendinginan *Annealing*

4.2. Analisis Komposisi Unsur

Komposisi unsur seluruh sampel dideteksi dengan menggunakan instrument EOS *Spectrometer*. Pada tabel 4.1 menunjukkan Hasil Pengujian EOS sampel kontrol memiliki kadar karbon 0.0358%,

Tabel 4. 1 Komposisi unsur spesimen kontrol

Unsur	Komposisi (Ave.wt%)
Fe	99.5
C	0.0358
Si	0.02
Mn	0.210
Cu	0.0375
Ni	0.092



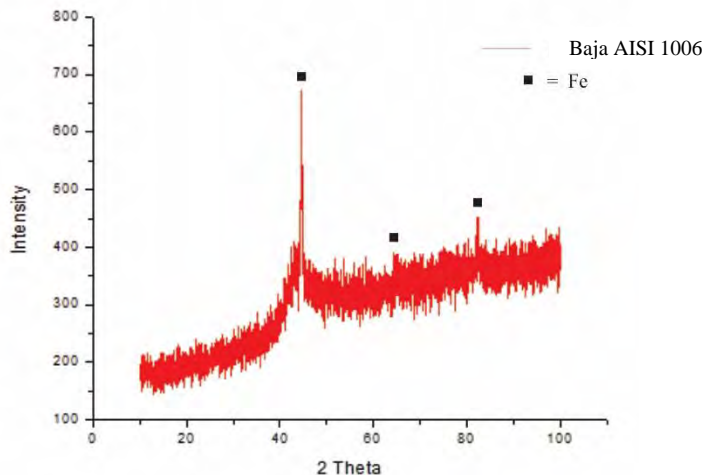
berdasarkan ASTM A830M spesimen kontrol tersebut diklasifikasikan sebagai AISI 1006 yang merupakan baja *low carbon mild steel* yang termasuk dalam klasifikasi baja *Hypoeutectoid*, sementara itu komposisi Cu tercatat 0.0375%.

4.3 Analisis Pengujian XRD

4.3.1 Analisis Spesimen Kontrol

Pengujian XRD dilakukan untuk mengetahui fasa yang terdapat pada spesimen Baja AISI 1006 setelah proses *Copperizing* dengan variasi waktu *post-heat* disertai metode pendinginan yang berbeda, Pada Gambar 4.4 menunjukkan grafik hasil xrd untuk spesimen control hasil Analisis menunjukkan 3 peak tertinggi pada $2\theta = 44.6183$ dengan intensitas 319.61 dan *indeks miller* (1,1,0) struktur kristal BCC, kemudian memiliki , $2\theta = 64.7854$ dengan intensitas 22.24 *indeks miller* (2,1,1) struktur kristal BCC dan $2\theta = 82.4103$ dengan intensitas 42.44 *indeks miller* (2,0,0) struktur kristal BCC, ketiga peak dicocokkan dengan menggunakan aplikasi Highscore plus didapatkan kecocokan peak dengan kartu JCPDF nomer 03-065-4899 dengan bentuk fasa α - Ferrite.

Hal ini sesuai dengan pengujian komposisi fasa yang didapat bahwa komposisi terbesar baja AISI 1006, dimana jika disesuaikan dengan diagram fasa sesuai dengan diagram fasa dari baja hypoeutectoid. lain tidak terdeteksi pada pengujian xrd karena jumlah untuk yang sangat kecil dan larut dalam Fe sehingga tidak membentuk fasa dan tidak tampak pada pengujian XRD.



Gambar 4. 4 Hasil pola pengujian XRD spesimen control
Tabel 4. 2 Spesifikasi Peak Fe hasil pengujian XRD spesimen kontrol

2 θ	Intensity	Phase
44.6183	319.62	α -Fe
64.7854	22.24	α -Fe
82.4103	42.44	α -Fe

4.3.2 Analisis Spesimen *Copperizing* variasi *post-heat* dengan pendinginan *normalizing*

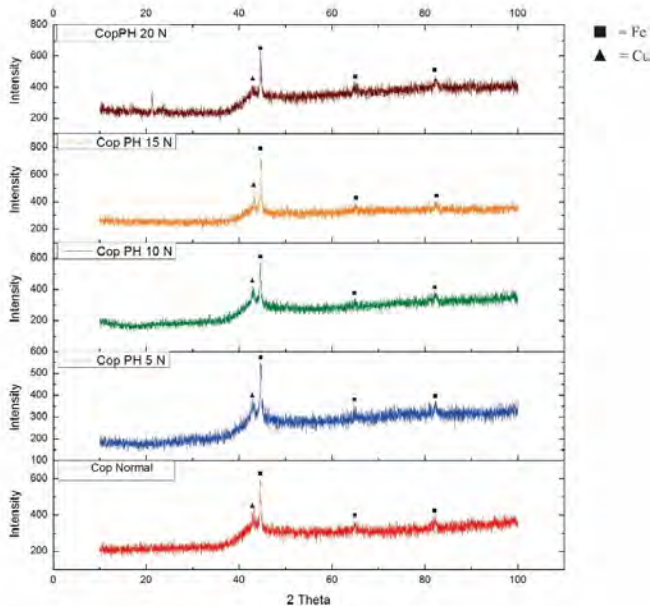
Berikut ini merupakan hasil pengujian XRD pada spesimen Baja AISI 1006 *Copperizing* dengan variasi waktu *post-heat* disertai pendinginan *Normalizing*. Perbandingan kurva dapat dilihat pada Gambar 4.5 yang menunjukkan pada masing-masing spesimen terdapat adanya peak α -Fe dengan peak tertinggi spesimen di $2\theta = 44.5732$ dengan *height* 261.49 dan *indeks miller* (1,1,0) struktur kristal BCC disusul puncak ke dua dan ke tiga di 82.2888 dengan *height* 41.34 dan *indeks miller*



(2,1,0) struktur kristal BCC dan 64.7797 dengan *height* 34.19 dan *indeks miller* (2,0,0) struktur kristal BCC. sesuai dengan kartu JCPDF 03-065-4899, pada spesimen ini terdapat peak baru yang muncul yaitu pada $2\theta = 43.2003$ dengan *height* 136.29 dan *indeks miller* (1,1,1) struktur kristal FCC dan $2\theta = 50.3556$ dengan *height* 26.89 dan *indeks miller* (2,0,0) struktur kristal FCC, kedua peak ini teridentifikasi sebagai peak *Copper* sesuai dengan kartu PDF 03-065-9026. Hal ini terjadi akibat lapisan *copper* pada permukaan yang teridentifikasi pada saat pengujian sehingga peak teridentifikasi.

Tabel 4. 3 Spesifikasi Peak Fe hasil pengujian XRD spesimen Baja AISI 1006 *Copperizing* variasi post-heat dengan pendinginan *normalizing*

2 θ	Intensity	Phase	JCPDF
44.5732	261.149	α -Fe	03-065-4899
82.288	41.34	α -Fe	
64.7797	34.19	α -Fe	
43.2003	136.29	Cu	03-065-9026
50.3556	26.89	Cu	



Gambar 4. 5 Hasil XRD Baja AISI 1006 *Copperizing* dengan variasi *post-heat* dengan pendinginan *Normalizing*

4.3.3 Analisis Spesimen *Copperizing* variasi *post-heat* dengan pendinginan *quenching*

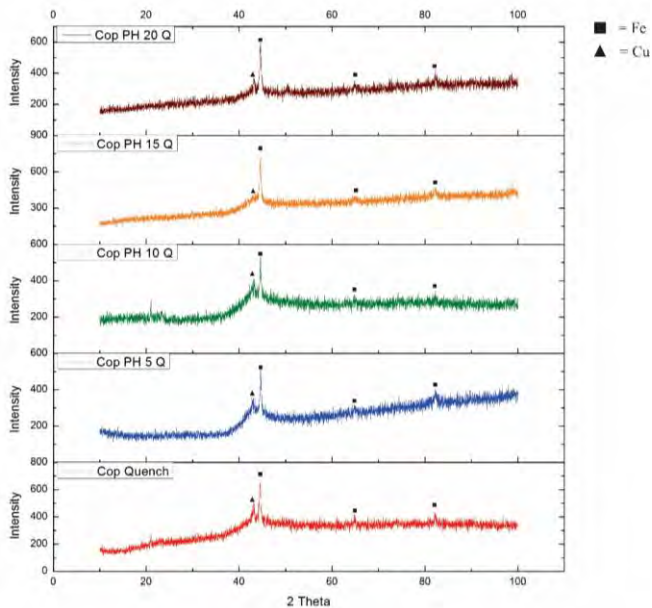
Pengujian XRD dilakukan juga pada spesimen Baja AISI 1006 *Copperizing* dengan variasi waktu *post-heat* disertai pendinginan *Quenching*. perbandingan kurva dapat dilihat pada gambar 4.6 yang menunjukkan pada masing-masing spesimen terdapat adanya peak α -Fe dengan peak tertinggi spesimen di $2\theta = 44.476$ dengan *height* 255.69 dan *indeks miller* (1,1,0) struktur kristal BCC disusul puncak ke dua dan ke tiga di 82.1409 dengan *height* 57.25 dan *indeks miller* (2,1,1) struktur kristal BCC dan 64.8172 dengan *height* 33.96 dan *indeks miller* (2,0,0) struktur



kristal BCC. sesuai dengan kartu JCPDF 00-006-0696, pada spesimen ini terdapat peak baru yang muncul yaitu pada $2\theta = 43.1266$ dengan *height* 127.99 dan indeks miller (1,1,1) struktur kristal FCC sebagai peak *Copper* sesuai dengan kartu PDF 03-065-9026. Hal ini terjadi akibat lapisan *copper* pada permukaan yang teridentifikasi pada saat pengujian sehingga peak Cu teridentifikasi.

Tabel 4. 4 Spesifikasi Peak Fe hasil pengujian XRD spesimen Baja AISI 1006 *Copperizing* variasi post-heat dengan pendinginan *quenching*

2 θ	Intensity	Phase	JCPDF
44.476	255.69	α -Fe	03-065-0696
82.1409	57.25	α -Fe	
64.8172	33.96	α -Fe	
43.1266	127.99	Cu	03-065-9026



Gambar 4. 6 Hasil XRD Baja AISI 1006 Copperizing dengan variasi post-heat dengan pendinginan Quenching

4.3.4 Analisis Spesimen Copperizing variasi post-heat dengan pendinginan Annealing

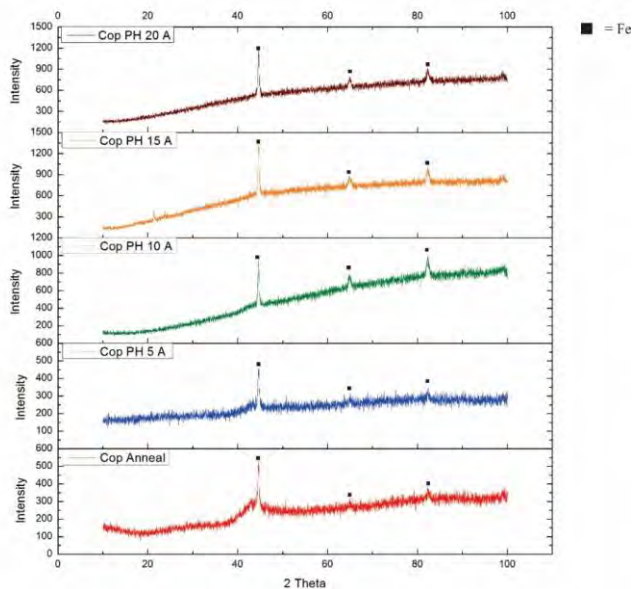
Berikut ini merupakan hasil pengujian XRD pada spesimen Baja AISI 1006 *Copperizing* dengan variasi waktu *post-heat* disertai pendinginan *Annealing*, perbandingan kurva dapat dilihat pada Gambar 4.7 yang menunjukkan pada masing-masing spesimen terdapat adanya peak α -Fe dengan peak tertinggi spesimen di $2\theta = 44.7049$ dengan *height* 260.48 dan *indeks miller* (1,1,0) struktur kristal BCC disusul puncak ke dua dan ke tiga di $2\theta = 82.2888$ dengan *height* 41.34 dan *indeks miller* (2,1,0) struktur kristal BCC dan $2\theta = 64.7797$ dengan *height* 34.19 dan



indeks miller (2,0,0) struktur kristal BCC. sesuai dengan kartu JCPDF 00-006-0696.

Tabel 4. 5 Spesifikasi Peak Fe hasil pengujian XRD spesimen Baja AISI 1006 *Copperizing* variasi post-heat dengan pendinginan *annealing*

2θ	Intensity	Phase	JCPDF
44.7049	260.48	α-Fe	03-065-0696
82.4062	44.55	α-Fe	
64.9688	21.82	α-Fe	

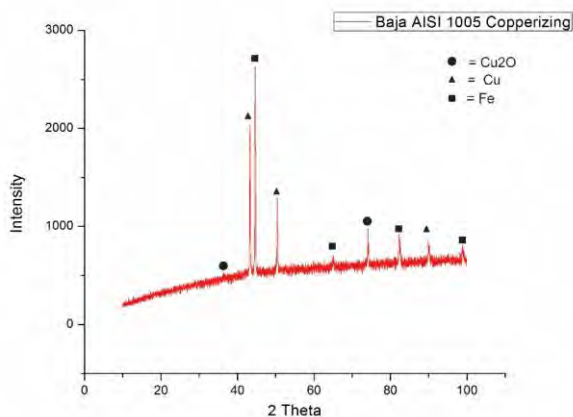


Gambar 4. 7 Hasil XRD Baja AISI 1006 *Copperizing* dengan variasi *post-heat* dengan pendinginan *Annealing*



4.3.5 Analisis Produk Korosi Baja AISI 1006 *Copperizing* pada larutan elektrolit pH 4 (6.25×10^{-5} M H_2SO_4) mengandung 200 ppm Cl^- (5.5×10^{-3} M NaCl)

Analisa XRD dilakukan pada permukaan specimen *copperizing* detelah mengalami pengujian polarisasi untuk mengetahui produk korosi yang di hasilkan.



Gambar 4. 8 Hasil CRD pada permukaan Baja AISI 1006 *copperizing* pada larutan elektrolit pH 4 (6.25×10^{-5} M H_2SO_4) mengandung 200 ppm Cl^- (5.5×10^{-3} M NaCl)

Setelah hasil pengujian didapatkan beberapa puncak *peak* yang diidentifikasi sebagai α -Fe pada $2\theta = 44.6122$ dengan *height* 2102.01 dan memiliki *indeks miller* (110) , $2\theta = 65.0578$ dengan *height* 65.64 memiliki *indeks miller* (210) dan $2\theta = 82.2131$ dengan *height* 276.56 memiliki *indeks miller* (200) ditemukan juga peak miliki Cu pada puncak $2\theta = 43.2562$ dengan *height* 1512.77 memiliki *indeks miller* (111) disusul dengan puncak ke dua di $2\theta = 74.0812$ dengan *height* 374.01 memiliki *indeks miller* (200) kemudian puncak ke tiga pada $2\theta = 89.8744$



dengan *height* 207.76 memiliki *indeks miller* (220) , prodak korosi yang terbentuk pada Specimen *copperizing* adalah Cu_2O (Wook Jang, 2009) ditunjukkan pada puncak *peak* $2\theta = 37.1140$ dengan *height* 23.51 dilanjutkan *peak* $2\theta = 43.3808$ dengan *height* 951.59 dan puncak *peak* $2\theta = 65.078$ dengan *height* 65.64

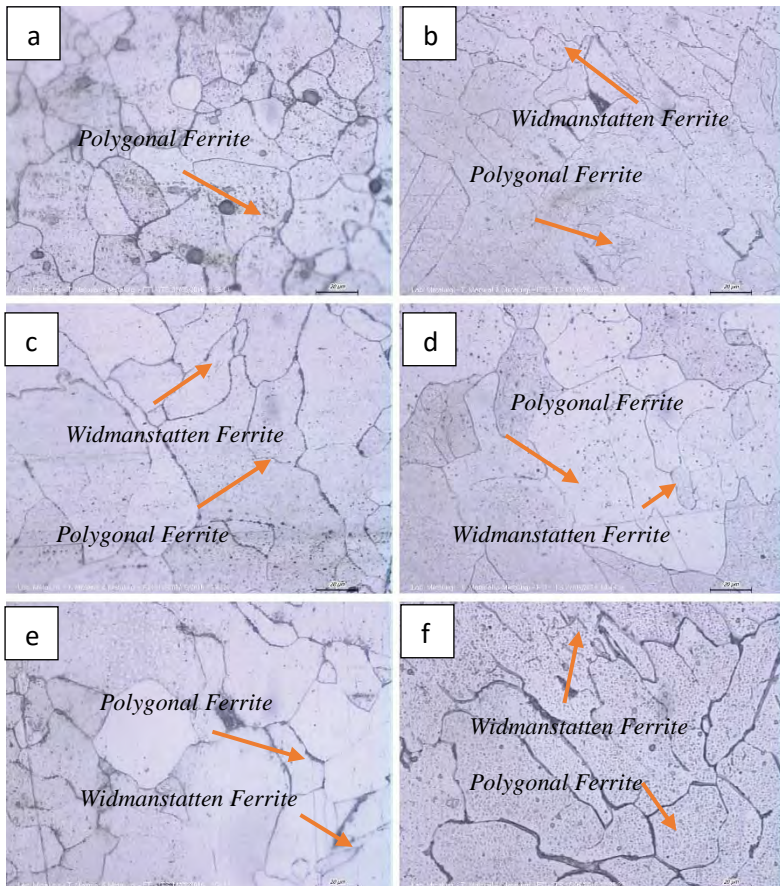
4.4 Analisis Struktur Mikro

Analisis struktur mikro pada baja AISI 1006 pada prose *copperizing* dengan variasi waktu tahan *post-heat* disertai perbedaan metode pendinginan bertujuan untuk mengetahui pengaruh proses *copperizing* terhadap mikrostruktur dan pengaruh variasi *post-heat* dengan pendinginan yang berbeda. pengambilan gambar struktur mikro di pusatkan pada bagian tepi karena pengaruh penambahan tembaga lebih banyak terdapat dibagian yang dekat dengan permukaan karena awal terjadinya difusi.

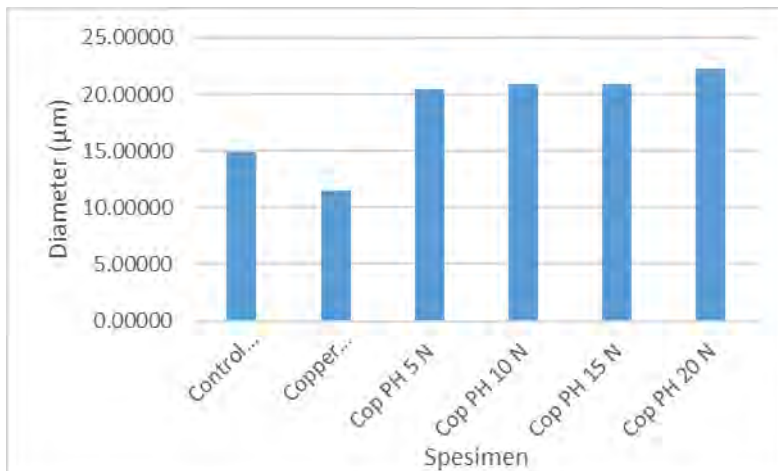
4.4.1 Analisis Struktur Mikro Baja AISI 1006

Copperizing* variasi *post-heat* pendinginan *normalizing

Berikut ini merupakan hasil gambar AISI 1006 di *pre-heat* dilakukan pendinginan *normalizing* tanpa proses *Copperizing* pada Gambar 4.9 (a), pada gambar tersebut menunjukkan butir yang kasar berbentuk bulat yang dapat diidentifikasi sebagai $\alpha\text{-Fe}$, yang sesuai dengan hasil XRD spesimen control baja, hal ini dapat terjadi karena proses *normalizing* yang di lakukan tidak menimbulkan fasa baru namun menubah ukuran butir , selain itu karena kandungan carbon yang sangat rendah yaitu 0.0358% tidak terjadi perubahan fasa lain.



Gambar 4. 9 Struktur mikro Baja AISI 1006 *Copperizing* dengan variasi *post-heat* disertai pendinan *Normalizing*, (a) *Normalizing* (b) *Cop Normal* (c) *Cop PH 5 N* (d) *Cop PH 10 N* (e) *Cop PH 15 N* dan (f) *Cop PH 20 N*



Gambar 4. 10 Diamater rata-rata Baja AISI 1006 *coppering* dengan variasi *post-heat* dengan pendinginan *normalizing*

Diameter rata rata butir Baja AISI 1006 *normalizing* tersebut adalah 14.94688 μm dengan *Grain size number* (G) 9.183291 menggunakan metode *Abrams Three-Circle Intercept Procedure* (ASTM E112) Gambar 4.9 (b) merupakan Baja AISI 1006 setelah proses *Copperizing* , gambar menunjukkan butir yang kasar dengan beberapa struktur yang runcing jika di sesuaikan dengan hasil pengujian XRD gambar tersebut menunjukkan fase $\alpha\text{-Fe}$, namun jika di perhatikan bentuk fasa berbeda dengan Baja AISI 1006 *normalizing* tanpa proses *Copperizing* fase $\alpha\text{-Fe}$ berbentuk bulat dan terdapat bagian fasa berbentuk runcing hal ini di identifikasikan sebagai fasa *Polygonal Ferrite* dan *Widmanstatten Ferrite* yang terjadi kerana pengaruh tembaga yang berdifusi saat proses *copperizing*. Diameter ukuran butir pada gambar tersebut adalah 11.48828 μm dengan dengan *Grain size number* (G) 9.93136231, jika dibandingkan dengan diameter ukuran butir Baja AISI 1006 *normalizing* tanpa proses *coppering* baja dengan proses



Copperizing mengalami peningkatan nilai *grain size* yang artinya menurunnya diameter butir fasa, hal ini di identifikasikan bahwa terdapat pengaruh difusi tembaga yang masuk saat proses *copperizing*. Gambar 4.9 (c) merupakan Baja AISI 1006 dengan proses *Copperizing* kemudian di *post-heat* dengan waktu 5 menit dilanjutkan dengan pendinginan *normalizing*, pada gambar menunjukkan butir yang kasar dengan struktur yang sedikit runcing di beberapa sisinya yang diidentifikasi sebagai *Polygonal Ferrite* dan *Widmanstatten Ferrite*, pada gambar terdapat warna putih yang mennjukkkan fasa α -Fe yang sesuai dengan hasil XRD, jika di banding dengan spesimen tanpa *post-heat* terlihat perbedaan yang jelas ukuran butirnya, terjadi peningkatan ukuran butir dengan ukuran butir hal ini di sebabkan karena *post-heat* yang memberikan waktu butir untuk membesar 20.50152 μm dengan *Grain Size Number* (G) 8.272567. Gambar 4.9 (d) adalah spesimen Baja AISI 1006 dengan proses *Copperizing* kemudian di *post-heat* dengan waktu 10 menit dilanjutkan dengan pendinginan *normalizing*, pada gambar terlihat butiran seluruhnya berwarna putih yang menunjukkan fasa α -Fe dimana fasa ini di sesuai dengan hasil pengujian XRD, pada gambar menunjukkan terdapat bebarapa bagian yang runcing menunjukkan fase *Polygonal Ferrite* dan *Widmanstatten Ferrite* yang terjadi karena pengaruh difusi tembaga ke dalam Baja AISI 1006. Pada spesimen ini terjadi peningkatan diameter butir namun tidak teralu signifikan, diameter butir 20.86231 μm dengan *Grain Size Number* (G) 8.227456832. Gambar 4.9 (e) spesimen Baja AISI 1006 dengan proses *Copperizing* kemudian di *post-heat* dengan waktu 15 menit dilanjutkan dengan pendinginan *normalizing*, pada gambar terlihat butiran seluruhnya berwarna putih yang menunjukkan fasa α -Fe dimana fasa ini di sesuai dengan hasil pengujian XRD, pada gambar menunjukkan terdapat bebarapa bagian yang runcing menunjukkan fase *Polygonal ferrite* yang terjadi karena pengaruh difusi tembaga ke dalam Baja AISI 1006. Pada spesimen ini terjadi peningkatan diameter butir namun tidak



teralu signifikan, diameter butir 20.92400 μm dengan *Grain Size Number* (G) 8.218776.

Berdasarkan hasil Gambar 4.9 diketahui bahwa proses *Copperizing* dengan pendinginan *normalizing* menghasilkan fasa baru yaitu *Polygonal Ferrite* dan mengecilkan ukuran butir, namun dengan penambahan proses *post-heat* akan memberikan waktu pada butir untuk tumbuh sehingga diameter butir membesar.

4.4.2 Analisis Struktur Mikro Baja AISI 1006

Copperizing variasi post-heat pendinginan quenching

Pengujian struktur mikro juga dilakukan pada spesimen Baja AISI 1006 *Copperizing* dengan variasi *post-heat* dilanjutkan dengan pendinginan *quenching* pengamatan butir di lakukan untuk mengetahui pengaruh varias *post-heat* dan *quenching* terhadap Baja AISI 1006, dilakukan pengukuran butir pada spesimen control dengan metode *Abrams Three-Circle Intercept Procedure* (ASTM E112).

Pada Gambar 4.11 (a) menunjukkan Baja AISI 1006 di *pre-heat* dilakukan pendinginan *quenching* tanpa proses *Copperizing*, gambar diambil meggunakan mikroskop metallurgy dengan pembesaran 500x gambar menunjukkan warna dominan putih yang merupakan fasa $\alpha\text{-Fe}$ yang sesuai dengan hasil pengujian XRD, ukuran diameter butir jika dibandingkan dengan Baja AISI 1006 tanpa *Copperizing* dengan pendinginan *normalizing* mengalami penurunan diakibatkan laju pendinginan yang sangat cepat sehingga butir tidak sempat tumbuh dan terlihat lebih kecil, ukuran diametr butir Baja AISI 1006 dengan pendinginan *quenching* adalah 5.28600 μm dengan *Grain Size Number* (G) 10.26689486



Gambar 4. 11 Struktur mikro Baja AISI 1006 *Copperizing* dengan variasi *post-heat* disertai pendinginan *Quenching*, (a) *Quenching* (b) *Cop Quench* (c) *Cop PH 5 Q* (d) *Cop PH 10 Q* (e) *Cop PH 15 Q* dan (f) *Cop PH 20 Q*

Gambar 4.11 (b) menunjukkan Baja AISI 1006 setelah proses *Copperizing* dan didinginkan menggunakan metode *quenching* media air, secara keseluruhan butir berwarna putih



yang menunjukkan fasa α -Fe hal ini sesuai dengan hasil XRD yang telah diambil, namun terjadi perbedaan yang sangat signifikan pada bentuk fasa jika dibandingkan dengan spesimen Baja AISI 1006 yang didinginkan menggunakan metode *quenching* tanpa proses *Copperizing*, bentuk fasa tidak lagi bulat namun berbentuk runcing dan memiliki arah orientasi yang berbeda, fasa berbeda yang terbuntuk adalah fasa *Grain Boundry Ferrite*, fasa *ferrite side plate* dan *grani boundry ferrite*, terbentuknya fasa yang berbeda ini diakibatkan pengaruh bertambahnya kadar paduan dalam Baja AISI 1006 sehingga menggeser curva *Continuous Cooling Transformation* (CTT) kearah kanan, karena adanya pertambahan logam paduan, yang dimana logam yang dimaksud disini adalah logam tembaga yang berdifusi pada baja AISI 1006 akibat proses *Copperizing*, pada spesimen ini tidak lakukan pengukuran diameter butir dikarenakan bentuk dan orientasi fasa yang tidak beraturan. Gambar 4.11 (c) merupakan Baja AISI 1006 dengan proses *Copperizing* kemudian di *post-heat* dengan waktu 5 menit dilanjutkan dengan pendinginan *Quenching*, pada gambar menunjukkan butir yang halus dengan struktur yang runcing disisinya yaitu fase *Grain Boundry Ferrite*, fase *ferrite side plate* dan fase *Grain Boundary Ferrite* hal ini di sebabkan karena pengaruh difusi tembaga ke dalam Baja AISI 1006, pada gambar terdapat warna putih yang mennjukkkan fasa α -Fe yang sesuai dengan hasil XRD, jika di banding dengan spesimen tanpa *post-heat* terlihat perbedaan yang jelas ukuran butirnya, terjadi peningkatan ukuran butir dengan ukuran butir hal ini di sebabkan karena *post-heat* yang memberikan waktu butir untuk membesar. Gambar 4.11 (d) adalah spesimen Baja AISI 1006 dengan proses *Copperizing* kemudian di *post-heat* dengan waktu 10 menit dilanjutkan dengan pendinginan *quenching*, pada gambar terlihat butiran seluruhnya berwarna putih yang menunjukkan fasa α -Fe dimana fasa ini di sesuai dengan hasil pengujian XRD, pada gambar menunjukkan terdapat beberapa bagian yang runcing menunjukkan fase *Grain Boundry Ferrite*, fase *ferrite side plate*



dan fase *Grain Boundary Ferrite* yang terjadi karena pengaruh difusi tembaga ke dalam Baja AISI 1006. Secara kasat mata terlihat butir bertambah besar dengan peningkatan waktu *post-heat* Gambar 4.11 (e) spesimen Baja AISI 1006 dengan proses *Copperizing* kemudian di *post-heat* dengan waktu 15 menit dilanjutkan dengan pendinginan *quenching*, pada gambar terlihat butiran seluruhnya berwarna putih yang menunjukkan fasa α -Fe dimana fasa ini di sesuai dengan hasil pengujian XRD, pada gambar menunjukkan terdapat beberapa bagian yang runcing menunjukkan fase *Grain Boundry Ferrite*, fase *ferrite side plate* dan fase *Grain Boundary Ferrite* yang terjadi karena pengaruh difusi tembaga ke dalam Baja AISI 1006. Secara kasat mata terlihat butir bertambah besar dengan peningkatan waktu *post-heat* Gambar 4.11 (f) specimen Baja AISI 1006 dengan proses *Copperizing* kemudian di *post-heat* dengan waktu 20 menit dilanjutkan dengan pendinginan *quenching*, pada gambar terlihat butiran seluruhnya berwarna putih yang menunjukkan fasa α -Fe dimana fasa ini di sesuai dengan hasil pengujian XRD, pada gambar menunjukkan terdapat beberapa bagian yang runcing menunjukkan fase *Grain Boundry Ferrite*, fase *ferrite side plate* dan fase *Grain Boundary Ferrite* yang terjadi karena pengaruh difusi tembaga ke dalam Baja AISI 1006. Secara kasat mata terlihat butir bertambah besar dengan peningkatan waktu *post-heat*

Gambar diatas dapat kita simpulkan bahwa proses *Copperizing* dengan pendinginan *quenching* menghasilkan bentuk fasa baru yaitu *Grain Boundry Ferrite*, fase *ferrite side plate* dan fase *Grain Boundary Ferrite* serta mengecilkan ukuran butir, namun dnegan penambahan proses *post-heat* akan memberikan waktu pada butir untuk tumbuh.

4.4.3 Analisis Struktur Mikro Baja AISI 1006

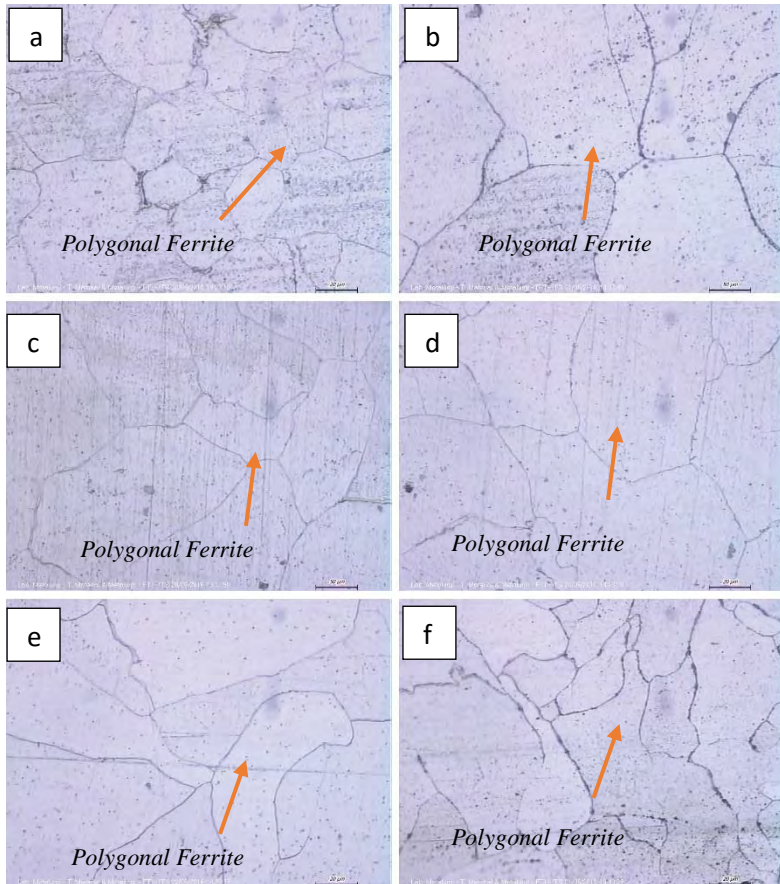
Copperizing variasi post-heat pendinginan annealing

Pengamatan struktur mikro dilakukan pada Baja AISI 1006 dengan *Copperizing* dengan variasi *post-heat* dilanjutkan



dengan pendinginan *annealing* pengamatan butir di lakukan untuk mengetahui pengaruh varias *post-heat* dan *annealing* terhadap Baja AISI 1006, dilakukan pengukuran butir pada spesimen control dengan metode *Abrams Three-Circle Intercept Procedure* (ASTM E112).

Pada Gambar 4.12 (a) menunjukkan Baja AISI 1006 di *pre-heat* dilakukan pendinginan *annealing* tanpa proses *Copperizing*, gambar diambil meggunakan microscop metallurgy dengan pembesaran 500x gambar menunjukkan warna dominan putih yang merupakan fasa α -Fe yang sesuai dengan hasil pengujian XRD, hal ini dapat terjadi karena proses *annealing* yang dilakukan tidak menimbulkan fasa baru namun merubah ukuran butir dengan sangat signifikan, selain itu karena kandungan carbon yang sangat rendah yaitu 0.0358% tidak membentuk fasa lain.

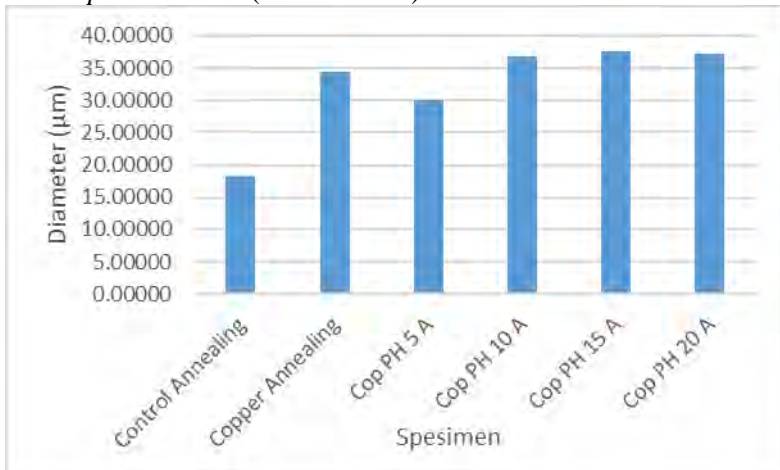


Gambar 4. 12 Struktur mikro Baja AISI 1006 *Copperizing* dengan variasi *post-heat* disertai pendinan *Annealing*, (a) *Annealing* (b) *Cop Anneal* (c) *Cop PH 5 A* (d) *Cop PH 10 A* (e) *Cop PH 15 A* dan (f) *Cop PH 20 A*

Diameter rata rata butir Baja AISI 1006 *annealing* tersebut adalah 18.30402 μm dengan *Grain size number* (G)



8.590302467 menggunakan metode *Abrams Three-Circle Intercept Procedure* (ASTM E112)



Gambar 4. 13 Diamater rata-rata Baja AISI 1006 *coppering* dengan variasi *post-heat* dengan pendinginan *annealing*

Gambar 4.12 (b) merupakan Baja AISI 1006 setelah proses *Copperizing* tanpa *post-heat* dan didinginkan menggunakan metode *annealing* gambar menunjukkan butir yang kasar dengan ukuran diameter yang besar, butir yang besar disebabkan oleh laju pendinginan yang sangat lambat sehingga memberi waktu untuk memberikan waktu pada butir untuk melebar, diameter butir yang terbentuk adalah 34.43808 dengan nilai *Grain Size Number* (G) 6.780159879 Gambar 4.12 (c) merupakan Baja AISI 1006 dengan proses *Copperizing* kemudian di *post-heat* dengan waktu 5 menit dilanjutkan dengan pendinginan *annealing*, pada gambar menunjukkan butir yang kasar dan diameter yang besar, pada gambar terdapat warna putih yang menunjukkan fasa α -Fe yang sesuai dengan hasil XRD, jika di banding dengan spesimen tanpa *post-heat* terlihat perbedaan yang jelas ukuran butirnya, terjadi perubahan ukuran butir dengan ukuran butir hal ini disebabkan karena *post-heat*



yang memberikan waktu butir untuk membesar 30.11488 μm dengan *Grain Size Number* (G) 6.780159879 Gambar 4.12 (d) adalah spesimen Baja AISI 1006 dengan proses *Copperizing* kemudian *dipost-heat* dengan waktu 10 menit dilanjutkan dengan pendinginan *annealing*, pada gambar terlihat butiran seluruhnya berwarna putih yang menunjukkan fasa $\alpha\text{-Fe}$ dimana fasa ini di sesuai dengan hasil pengujian XRD Pada spesimen ini terjadi peningkatan diameter, dengan diameter butir 36.87080 μm dengan *Grain Size Number* (G) 6.577432843. Gambar 4.12 (e) spesimen Baja AISI 1006 dengan proses *Copperizing* kemudian *dipost-heat* dengan waktu 15 menit dilanjutkan dengan pendinginan *normalizing*, pada gambar terlihat butiran seluruhnya berwarna putih yang menunjukkan fasa $\alpha\text{-Fe}$ dimana fasa ini di sesuai dengan hasil pengujian XRD. Pada spesimen ini terjadi peningkatan diameter butir namun tidak terlalu signifikan, diameter butir 37.62288 μm dengan *Grain Size Number* (G) 6.571475773. Gambar 4.12 (f) spesimen Baja AISI 1006 dengan proses *Copperizing* kemudian *dipost-heat* dengan waktu 20 menit dilanjutkan dengan pendinginan *normalizing*, pada gambar terlihat butiran seluruhnya berwarna putih yang menunjukkan fasa $\alpha\text{-Fe}$ dimana fasa ini di sesuai dengan hasil pengujian XRD. Pada spesimen ini terjadi peningkatan diameter butir namun tidak teralu signifikan, diameter butir 37.11505 μm dengan *Grain Size Number* (G) 6.557079232.

Gambar diatas dapat kita simpulkan bahwa proses *Copperizing* dengan pendinginan menghasilkan fasa baru yaitu *Polygonal Ferrite* dan mengecilkan ukuran butir, namun dengan penambahnan proses *post-heat* akan memberikan waktu pada butir untuk tumbuh sehingga diameter butir membesar

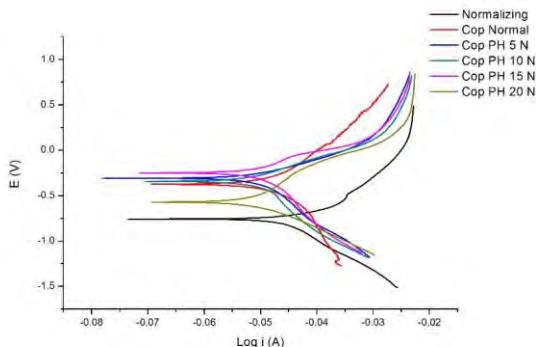
4.5 Analisis Polarisasi

Pengujian analisis tafel dilakukan untuk mengetahui laju korosi serta perilaku korosi yang terjadi antara elektrolit dengan baja AISI 1006 dengan proses cooperizing variasi *post-heat* dan metode pendinginan yang berbeda. Pengujian menggunakan



larutan air pH 4 (6.25×10^{-5} M H_2SO_4) yang mengandung 200 ppm Cl^- (5.5×10^{-3} M NaCl) yang merupakan larutan hujan asam.

4.5.1 Analisis Polarisasi Baja AISI 1006 *Copperizing* variasi *post-heat* pendinginan *normalizing*



Gambar 4. 14 Hasil Kurva Pengujian Tafel Baja AISI 1006 *Copperizing* dengan variasi *post-heat* dilanjutkan pendinginan *normalizing* pada larutan air pH 4 (6.25×10^{-5} M H_2SO_4) yang mengandung 200 ppm Cl^- (5.5×10^{-3} M NaCl)

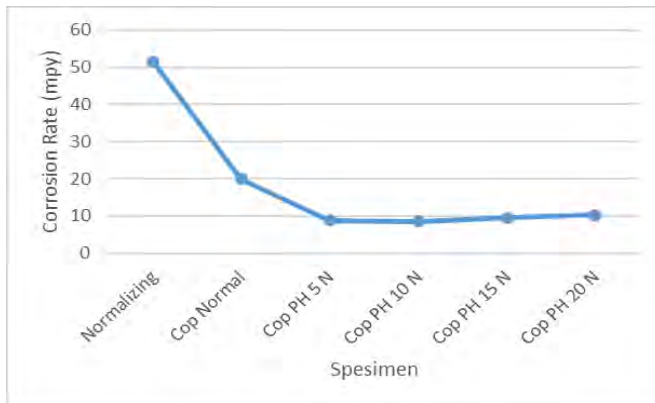
Hasil analisis kurva tafel pada Gambar 4.14 yang dilakukan, diperoleh parameter elektrokimia berupa b_a (gradient tafel anodik), b_c (gradient tafel katodik), E_{corr} (potensial korosi), i_{corr} (kerapatan arus korosi), serta laju korosi ditunjukkan pada table 4.6



Tabel 4. 6 Parameter Elektrokimia Hasil Analisis Kurva Tafel Baja AISI 1006 *Copperizing* variasi *post-heat* pendinginan *Normalizing* pada larutan air pH 4 (6.25×10^{-5} M H_2SO_4) mengandung 200 ppm Cl^- (5.5×10^{-3} M NaCl)

<i>Spesimen</i>	ba	bc	E_{corr}	I_{corr}	Laju Korosi	
	(mV/dec)	(mV/dec)	(mV)	(μA)	(mm/yr)	(mpy)
Normalizing	1279.8	225.37	-797.44	56.191	1.3058	51.42145645
Cop Normal	513.41	537.49	-372.9	21.827	0.5063	19.93839154
Cop PH 5 N	462.1	205.16	-284.02	9.6129	0.22298	8.781131811
Cop PH 10 N	345.37	288.81	-354.77	9.3011	0.21575	8.496310696
Cop PH 15 N	456.66	289.19	-214.64	10.323	0.23945	9.429789521
Cop PH 20 N	292.04	600.51	-576.99	11.299	0.26209	10.3213399

Hasil pengujian specimen polarisas baja AISI 1006 tanpa proses *Copperizing* dan *post-heat* dengan pendingin *normalizing*, pada larutan air pH 4 (6.25×10^{-5} M H_2SO_4) mengandung 200 ppm Cl^- (5.5×10^{-3} M NaCl) didapatkan nilai *corrosion rate* tertinggi di tunjukkan pada specimen *normalizing* dengan nilai *corrosion rate* 1.3058 mm/yr atau 51.4214 mpy, specimen *Cop Normal* dengan nilai *corrosion rate* 0.5063 mm/yr atau 19.93839154 mpy, specimen *Cop PH 5 N* dengan nilai *corrosion rate* 0.22298 mm/yr atau 8.781131811 mpy, specimen *Cop PH 10 N* dengan nilai *corrosion rate* 0.21575 mm/yr atau 8.496310696 mpy, *Cop PH 15 N* dengan nilai *corrosion rate* 0.23945 mm/yr atau 9.42978 mpy. *Cop PH 20 N* dengan nilai *corrosion rate* 0.26209 mm/yr atau 10.3213399 mpy.

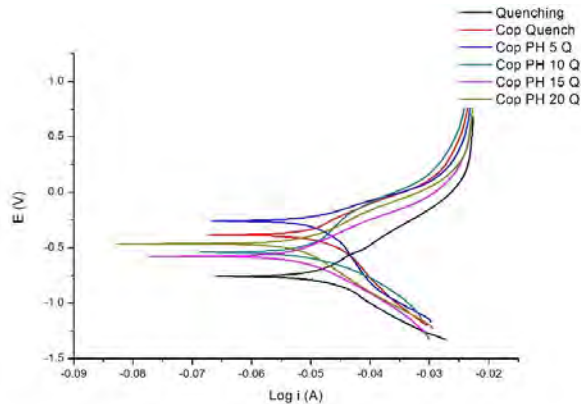


Gambar 4. 15 Kurva *corrosion rate* pada pengujian Baja AISI 1006 *Copperizing* dengan variasi *post-heat* dengan pendinginan *Normalizing*

Dari hasil analisis di atas didapat kesimpulan bahwa terjadi penurunan nilai *corrosion rate* dari specimen yang tanpa proses *Copperizing* dan specimen proses *Copperizing* dengan pendinginan *Normalizing*, kemudian dibandingkan dengan specimen *Copperizing* dengan penambahan variasi *post-heat* didapatkan penurunan nilai *corrosion rate*, namun nilai *corrosion rate* tidak mengalami perubahan pada masing masing variasi, kurva penurunan dapat diliha pada Gambar 4.15

4.5.2 Analisis Polarisasi Baja AISI 1006 *Copperizing* variasi *post-heat* pendinginan *quenching*

Pengujian polarisasi dilakukan pada Baja AISI 1006 *Copperizing* variasi *post-heat* pendinginan *quenching*, dengan tujuan membandingkan pengaruh dari proses *Copperizing* dan variasi *post-heat* dengan pendinginan *quenching* terhadap sifat ketahanan terhadap korosi baja.



Gambar 4. 16 Hasil Kurva Pengujian Tafel Baja AISI 1006 *Copperizing* dengan variasi *post-heat* dilanjutkan pendinginan *quenching* pada larutan air pH 4 (6.25×10^{-5} M H_2SO_4) yang mengandung 200 ppm Cl^- (5.5×10^{-3} M NaCl)

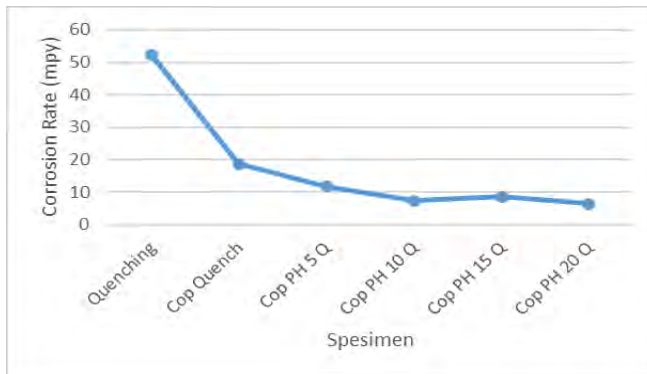
Hasil analisis kurva tafel pada Gambar 4.16 yang dilakukan, diperoleh parameter elektrokimia berupa b_a (gradient tafel anodik), b_c (gradient tafel katodik), E_{corr} (potensial korosi), i_{corr} (kerapatan arus korosi), serta laju korosi ditunjukkan pada table 4.7



Tabel 4. 7 Parameter Elektrokimia Hasil Analisis Kurva Tafel Baja AISI 1006 *Copperizing* variasi *post-heat* pendinginan *Quenching* pada larutan air pH 4 (6.25×10^{-5} M H_2SO_4) mengandung 200 ppm Cl^- (5.5×10^{-3} M NaCl)

Spesimen	ba	bc	E_{corr}	I_{corr}	Laju Korosi	
	(mV/dec)	(mV/dec)	(mV)	(μA)	(mm/yr)	(mpy)
Quenching	461.36	-148450	-748.53	57.135	1.3277	52.28532886
Cop Quench	409.04	579.81	-381.79	20.439	0.1588	18.67048998
Cop PH 5 Q	486.57	179.43	-239.3	12.894	0.29909	11.77833053
Cop PH 10 Q	181.86	361.29	-534.74	7.9905	0.25829	7.299111999
Cop PH 15 Q	311.29	525.62	573.94	9.3	0.21578	8.495305875
Cop PH 20 Q	403.11	227.16	-459.71	7.1042	0.16479	6.489500215

Hasil pengujian specimen polarisas baja AISI 1006 tanpa proses *Copperizing* dan *post-heat* dengan pendingin *quenching*, pada larutan air pH 4 (6.25×10^{-5} M H_2SO_4) mengandung 200 ppm Cl^- (5.5×10^{-3} M NaCl) didapatkan nilai *corrosion rate* tertinggi di tunjukkan pada specimen *quenching* dengan nilai *corrosion rate* 1.3277 mm/yr atau 52.2853288 mpy, specimen *cop quench* dengan nilai *corrosion rate* 0.1588 mm/yr atau 18.67048, specimen *Cop PH 5 Q* dengan nilai *corrosion rate* 0.29909 mm/yr atau 11.778330 mpy, specimen *Cop PH 10 Q* dengan nilai *corrosion rate* 0.25829 mm/yr atau 7.29911 mpy, *Cop PH 15 Q* dengan nilai *corrosion rate* 0.21578 mm/yr atau 8.49530 mpy. *Cop PH 20 Q* dengan nilai *corrosion rate* 0.16479 mm/yr atau 6.48950 mpy.

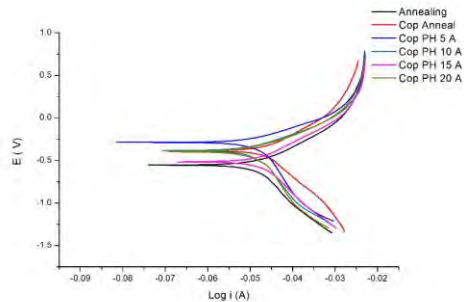


Gambar 4. 17 Kurva *corrosion rate* pada pengujian Baja AISI 1006 *Copperizing* dengan variasi *post-heat* dengan pendinginan *Quenching*

Dari hasil analisis di atas didapat kesimpulan bahwa terjadi penurunan nilai *corrosion rate* dari specimen yang tanpa proses *Copperizing* dan specimen proses *Copperizing* dengan pendinginan *Quenching*, kemudian dibandingkan dengan specimen *Copperizing* dengan penambahan variasi *post-heat* didapatkan penurunan nilai *corrosion rate*, namun nilai *corrosion rate* tidak mengalami perubahan pada masing masing variasi, kurva penurunan dapat dilihat pada Gambar 4.17

4.5.3 Analisis Polarisasi Baja AISI 1006 *Copperizing* variasi *post-heat* pendinginan *Annealing*

Pengujian polarisasi dilakukan pada Baja AISI 1006 *Copperizing* variasi *post-heat* pendinginan *Annealing*, dengan tujuan membandingkan pengaruh dari proses *Copperizing* dan variasi *post-heat* dengan pendinginan *quenching* terhadap sifat ketahanan terhadap korosi baja.



Gambar 4. 18 Hasil Kurva Pengujian Tafel Baja AISI 1006 *Copperizing* dengan variasi *post-heat* dilanjutkan pendinginan *quenching* pada larutan air pH 4 (6.25×10^{-5} M H_2SO_4) yang mengandung 200 ppm Cl^- (5.5×10^{-3} M NaCl)

Hasil analisis kurva tafel pada Gambar 4.18 yang dilakukan, diperoleh parameter elektrokimia berupa b_a (gradient tafel anodic), b_c (gradient tafel katodik), E_{corr} (potensial korosi), i_{corr} (kerapatan arus korosi), serta laju korosi ditunjukkan pada table 4.8



Tabel 4. 8 Parameter Elektrokimia Hasil Analisis Kurva Tafel Baja AISI 1006 *Copperizing* variasi *post-heat* pendinginan *Annealing* pada larutan air pH 4 (6.25×10^{-5} M H_2SO_4) mengandung 200 ppm Cl^- (5.5×10^{-3} M NaCl)

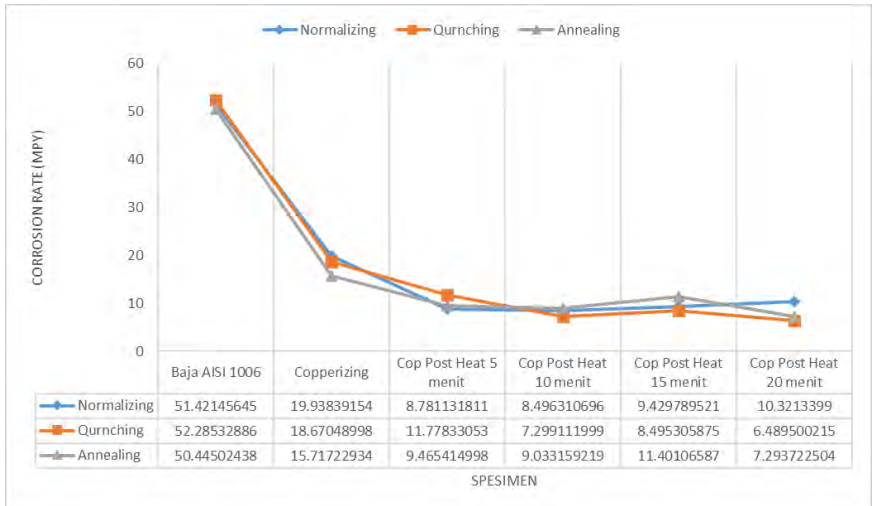
<i>Spesimen</i>	ba	bc	E_{corr}	I_{corr}	Laju Korosi	
	(mV/dec)	(mV/dec)	(mV)	(μA)	(mm/yr)	(mpy)
Annealing	1322.1	479.09	-384.37	55.124	1.281	50.44502438
Cop Anneal	704.33	252.93	-568.9	17.206	0.39911	15.71722934
Cop PH 5 A	387.77	175.2	-268.83	10.362	0.24036	9.465414998
Cop PH 10 A	419.35	188.76	-366.67	9.8888	0.22938	9.033159219
Cop PH 15 A	415	249	-505.05	12.481	0.28951	11.40106587
Cop PH 20 A	328.63	168.26	-373.72	7.9846	0.18521	7.293722504

Hasil pengujian specimen polarisasi baja AISI 1006 tanpa proses *Copperizing* dan *post-heat* dengan pendingin *Annealing*, pada larutan air pH 4 (6.25×10^{-5} M H_2SO_4) mengandung 200 ppm Cl^- (5.5×10^{-3} M NaCl) didapatkan nilai *corrosion rate* tertinggi di tunjukkan pada specimen *Annealing* dengan nilai *corrosion rate* 1.281 mm/yr atau 50.4450 mpy, specimen *Cop Anneal* dengan nilai *corrosion rate* 0.39911 mm/yr atau 15.71722934, specimen *Cop PH 5 A* dengan nilai *corrosion rate* 0.24036 mm/yr atau 9.46541 mpy, specimen *Cop PH 10 A* dengan nilai *corrosion rate* 0.22938 mm/yr atau 9.03315 mpy, *Cop PH 15 A* dengan nilai *corrosion rate* 0.28951 mm/yr atau 11.401066 mpy. *Cop PH 20 A* dengan nilai *corrosion rate* 0.18521 mm/yr atau 7.29372 mpy.



Gambar 4. 19 Kurva corrosion rate pada pengujian Baja AISI 1006 *Copperizing* dengan variasi *post-heat* dengan pendinginan *Annealing*

Dari hasil analisis di atas didapat kesimpulan bahwa terjadi penurunan nilai *corrosion rate* dari specimen yang tanpa proses *Copperizing* dan specimen proses *Copperizing* dengan pendinginan *Annealing*, kemudian dibandingkan dengan specimen *Copperizing* dengan penambahan variasi *post-heat* didapatkan penurunan nilai *corrosion rate*, namun nilai *corrosion rate* tidak mengalami perubahan pada masing masing variasi, kurva penurunan dapat diliha pada Gambar 4.19



Gambar 4. 20 Kurva *corrosion rate* gabungan dari ketiga metode pendinginan

Secara keseluruhan Specimen Baja AISI 1006 *copperizing* memiliki ketahanan korosi yang baik di larutan hujan pH 4 (6.25×10^{-5} M H_2SO_4) mengandung 200 ppm Cl^- (5.5×10^{-3} M NaCl) dibandingkan dengan Baja AISI 1006 yang tidak melalui prose *copperizing* hal ini terjadi karena adanya lapisan Tembaga pada permukaan yang memiliki potensial yang tinggi (Zaki Ahmad, 2006), sedangkan tembaga memiliki system proteksi permukaan dengan membentuk Oksida yang memproteksi lapisan sehingga laju korosi pada permukaan terhenti (Jong, 2009), lapisan yang terbentuk adalah Cu_2O , lapisan ini sesuai dengan hasil XRD pada permukaan baja *copperizing*, didapat Baja AISI 1006 *copperizing* dengan *post-heat* 20 menit pendinginan *Quenching* memiliki nilai *corrosion rate* paling rendah senilai 6.489 mpy

LAMPIRAN 1

Hasil Uji Spektroskopi Baja AISI 1006

POLITEKNIK PERKAPALAN NEGERI SURABAYA
LABORATORIUM DT NDT

OES Chemical Results

Sample ID :	1	Material :	CARBON STEEL
Customer :	ADHA ISORI HARTATA	Dimension :	-
Lab-no. :	UJI BAHAN	Heat-no. :	-
Operator :	ELHAM	Ka. Laboratorium :	M.THORIQ WAHYUDI
Date:	3/31/2015		

Spektralanalyse Foundry-MASTER Grade :

	Fe	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo
1	99.5	0.0376	0.0205	0.211	0.0094	0.0089	0.0304	< 0.0050
2	99.5	0.0373	0.0199	0.208	0.0092	0.0079	0.0253	< 0.0050
3	99.5	0.0324	0.0195	0.211	0.0086	0.0072	0.0270	< 0.0050
Ave	99.5	0.0358	0.0200	0.210	0.0091	0.0080	0.0276	< 0.0050

	Ni	Al	Co	Cu	Nb	Ti	V	W
1	0.0305	0.0464	< 0.0050	0.0363	0.0103	0.0066	< 0.0050	< 0.0050
2	0.0308	0.0449	< 0.0050	0.0377	0.0122	< 0.0050	< 0.0050	< 0.0050
3	0.0284	0.0450	< 0.0050	0.0384	0.0196	< 0.0050	< 0.0050	< 0.0050
Ave	0.0292	0.0454	< 0.0050	0.0375	0.0140	< 0.0050	< 0.0050	< 0.0050

	Pb
1	< 0.0050
2	< 0.0050
3	< 0.0050
Ave	< 0.0050

LAMPIRAN 2

Hasil XRD

1. Hasil XRD baja AISI 1006

Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
44.6183	319.62	0.1673	2.03090	100.00
64.7854	22.24	0.8029	1.43907	6.96
82.4103	42.44	0.8029	1.17029	13.28

2. Hasil XRD Baja AISI 1006 *Copperizing* pendinginan *Normalizing*

Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
43.2003	136.29	0.1338	2.09422	52.12
44.5732	261.49	0.2007	2.03285	100.00
50.3556	26.89	0.4015	1.81214	10.28
64.7797	34.19	0.4015	1.43918	13.07
82.2888	41.34	0.4015	1.17171	15.81

3. Hasil XRD Baja AISI 1006 *Copperizing post-heat 5* menit pendinginan *Normalizing*

Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
42.8099	71.38	0.3346	2.11241	29.53
44.6321	241.71	0.2342	2.03030	100.00
82.2436	38.72	0.5353	1.17224	16.02

4. Hasil XRD Baja AISI 1006 *Copperizing post-heat 10* menit pendinginan *Normalizing*

Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
43.0414	72.05	0.6691	2.10158	28.54
44.5560	252.39	0.2007	2.03359	100.00
82.2398	42.57	0.6691	1.17228	16.87

5. Hasil XRD Baja AISI 1006 *Copperizing post-heat 15* menit pendinginan *Normalizing*

Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
43.3285	99.86	0.1338	2.08831	25.10
44.6408	397.79	0.2676	2.02993	100.00
50.5366	22.66	0.8029	1.80608	5.70
65.0934	30.23	0.4015	1.43300	7.60
82.3803	35.78	0.4015	1.17064	8.99

6. Hasil XRD Baja AISI 1006 *Copperizing post-heat 20* menit pendinginan *Normalizing*

Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
42.8568	46.65	0.8029	2.11020	17.65
44.6044	264.27	0.1338	2.03150	100.00
64.8906	35.47	0.5353	1.43699	13.42
78.7280	16.57	0.2342	1.21552	6.27
82.3384	40.25	0.8029	1.17113	15.23

7. Hasil XRD Baja AISI 1006 *Copperizing* pendinginan *Quenching*

Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
43.1266	127.99	0.1338	2.09762	50.06
44.4768	255.69	0.2342	2.03703	100.00
64.8172	33.96	0.4015	1.43844	13.28
82.1409	57.25	0.3346	1.17344	22.39

8. Hasil XRD Baja AISI 1006 *Copperizing post-heat 5* menit pendinginan *Quenching*

Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
42.8086	66.91	0.2676	2.11246	29.22
44.5909	228.96	0.1673	2.03208	100.00
64.8476	30.26	0.5353	1.43784	13.21
82.3022	41.27	0.5353	1.17155	18.03

9. Hasil XRD Baja AISI 1006 *Copperizing post-heat 10* menit pendinginan *Quenching*

Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
20.9634	90.25	0.1673	4.23774	48.90
43.2558	79.89	0.2007	2.09166	43.29
44.5839	184.58	0.2007	2.03239	100.00
64.9218	21.78	0.5353	1.43638	11.80
82.1356	25.56	0.5353	1.17351	13.85

**10. Hasil XRD Baja AISI 1006 *Copperizing post-heat 15*
menit pendinginan *Quenching***

Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
44.5636	340.74	0.2342	2.03326	100.00
64.7912	27.33	0.9368	1.43895	8.02
82.2514	47.58	0.4015	1.17215	13.96

**11. Hasil XRD Baja AISI 1006 *Copperizing post-heat 20*
menit pendinginan *Quenching***

Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
42.7492	78.50	0.2676	2.11526	27.43
44.6288	286.21	0.2007	2.03044	100.00
64.9606	30.99	0.6691	1.43561	10.83
82.1591	27.58	0.6691	1.17323	9.64

**12. Hasil XRD Baja AISI 1006 *Copperizing pendinginan*
*Annealing***

Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
42.9060	40.08	0.4015	2.10789	15.39
44.7049	260.48	0.2342	2.02717	100.00
64.9688	21.82	0.8029	1.43545	8.38
82.4062	44.55	0.4015	1.17034	17.10

**13. Hasil XRD Baja AISI 1006 *Copperizing post-heat 5*
menit pendinginan *Annealing***

Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
-----------------	-----------------	----------------------	------------------	------------------

44.6325	197.65	0.3346	2.03028	100.00
65.0481	29.03	0.4015	1.43389	14.69
82.3926	37.88	0.6691	1.17050	19.16

14. Hasil XRD Baja AISI 1006 Copperizing post-heat 10 menit pendinginan Annealing

Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
44.6205	458.31	0.2676	2.03080	100.00
64.8792	112.70	0.5353	1.43722	24.59
82.1769	165.65	0.5353	1.17302	36.14

15. Hasil XRD Baja AISI 1006 Copperizing post-heat 15 menit pendinginan Annealing

Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
44.6302	709.18	0.2676	2.03038	100.00
64.8477	124.03	0.4015	1.43784	17.49
82.2260	169.47	0.4684	1.17245	23.90

16. Hasil XRD Baja AISI 1006 Copperizing post-heat 20 menit pendinginan Annealing

Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
44.6483	640.98	0.2342	2.02960	100.00
64.9338	109.02	0.5353	1.43614	17.01
82.2434	170.88	0.4015	1.17224	26.66

17. Hasil XRD Baja AISI 1006 Copperizing Corrosion Anlysis

Pos.	Height	FWHM	d-spacing	Rel. Int.
------	--------	------	-----------	-----------

[°2Th.]	[cts]	Left [°2Th.]	[Å]	[%]
37.1140	23.51	0.6691	2.42244	1.12
43.2562	1512.77	0.1020	2.08991	71.97
43.3808	951.59	0.0612	2.08937	45.27
44.6122	2102.01	0.1224	2.02948	100.00
44.7402	1135.48	0.0612	2.02900	54.02
50.3885	701.56	0.1020	1.80954	33.38
65.0578	65.64	0.3264	1.43251	3.12
74.0812	374.01	0.0816	1.27876	17.79
74.3126	191.22	0.1224	1.27535	9.10
82.2131	276.50	0.1224	1.17163	13.15
82.5209	183.61	0.1224	1.17094	8.74
89.8744	207.76	0.1632	1.09056	9.88
98.7859	119.38	0.2448	1.01463	5.68

LAMPIRAN 3

PDF CARD

1. Name and formula

Reference coe:	00-006-0696
Mineral name:	Iron, syn
Compound name:	Iron
Common name:	bainite, ferrite, ledkunitite
Empirical formula:	Fe
Chemical formula:	Fe

Crystallographic parameters

Crystal system:	Cubic
Space group:	Im-3m
Space group number:	229
a (Å):	2.8664
b (Å):	2.8664
c (Å):	2.8664
Alpha (°):	90.0000
Beta (°):	90.0000
Gamma (°):	90.0000
Calculated density (g/cm ³):	7.87
Volume of cell (10 ⁶ pm ³):	23.55
Z:	2.00
RIR:	-

Subfiles and quality

Subfiles:	Alloy, metal or intermetallic
	Common Phase
	Educational pattern
	Forensic
	Inorganic
	Mineral
	NBS pattern

Quality: Star (S)

Comments

Color: Gray, light gray metallic
Creation Date: 1/1/1970
Modification Date: 1/11/2011
Additional Patterns: To replace 00-001-1262. See PDF 01-085-1410
Analysis: Total impurities of sample <0.0013% each metals and non-metals
Color: Gray, light gray metallic
General Comments: α -Fe (fcc)=(1390 C) α -Fe (bcc)
Opaque Optical Data: Opaque mineral optical data on specimen from Meteorite: RR2Re= 57.7, Disp.=16, VHN=158 (mean at 100, 200, 300), Color values=.311, .316, 57.9, Ref.: IMA Commission on Ore Microscopy QDF.
Sample Preparation: The iron used was an exceptionally pure rolled sheet prepared at the NBS, Gaithersburg, Maryland, USA., (Moore, G., J. Met., 5 1443 (1953)). It was annealed in an "H₂" atmosphere for 3 days at 1100 C and slowly cooled in a He atmosphere.
Temperature of Data Collection: Pattern taken at 298 K. Unit Cell Data Source: Powder Diffraction.

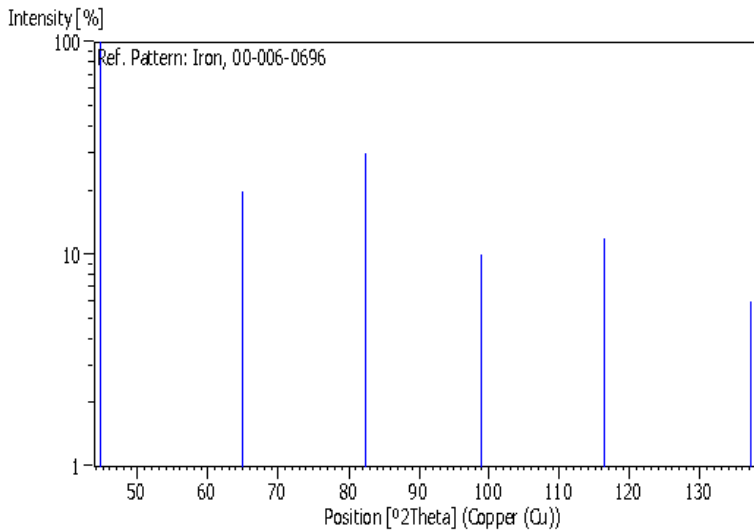
References

Primary reference: Swanson et al., *Natl. Bur. Stand. (U. S.), Circ. 539*, **IV**, 3, (1955)

Peak list

No.	h	k	l	d [Å]	2Theta[deg]	I
						[%]
1	1	1	0	2.02680	44.674	100.0
2	2	0	0	1.43320	65.023	20.0
3	2	1	1	1.17020	82.335	30.0
4	2	2	0	1.01340	98.949	10.0
5	3	1	0	0.90640	116.390	12.0
6	2	2	2	0.82750	137.144	6.0

Stick Pattern



2. Name and formula

Reference code:	03-065-9026
Compound name:	Copper
Empirical formula:	Cu
Chemical formula:	Cu

Crystallographic parameters

Crystal system:	Cubic
Space group:	Fm-3m
Space group number:	225
a (Å):	3.6130
b (Å):	3.6130
c (Å):	3.6130
Alpha (°):	90.0000
Beta (°):	90.0000
Gamma (°):	90.0000
Volume of cell (10 ⁶ pm ³):	47.16
Z:	4.00
RIR:	8.85

Status, subfiles and quality

Status:	Diffraction data collected at non ambient temperature Alternate Pattern
Subfiles:	Alloy, metal or intermetallic Common Phase Forensic Inorganic NIST Pattern
Quality:	Indexed (I)

Comments

Creation Date:	2/11/2005
Modification Date:	1/26/2011
NIST M&A collection code:	A 22857 53930 1

Temperature Factor:TF TF was not given, B set to 1.000 for calc

Temperature of Data Collection:293 K

Minor Warning:No e.s.d reported/abstracted on the cell dimension. No Rfactor reported/abstracted

Unit Cell Data Source:Powder Diffraction.

References

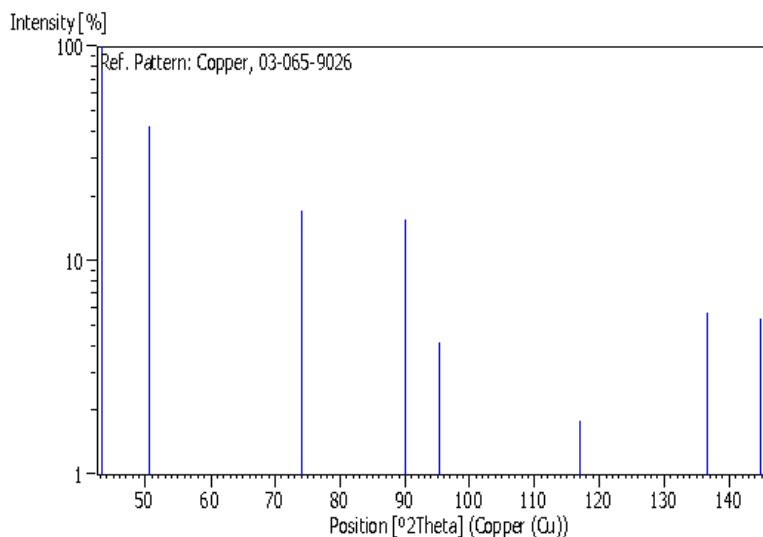
Primary reference:*Calculated from NIST using POWD-12+ +*

Structure:Suh, I.-K., Ohta, H., Waseda, Y., *J. Mater. Sci.*, **23**, 757, (1988)

Peak list

No.	h	k	l	d [Å]	2Theta [deg]	I
[%]						
1	1	1	1	2.08600	43.341	
100.0						
2	2	0	0	1.80650	50.479	
42.7						
3	2	2	0	1.27740	74.173	
17.1						
4	3	1	1	1.08940	89.997	
15.7						
5	2	2	2	1.04300	95.215	
4.2						
6	4	0	0	0.90320	117.047	
1.8						
7	3	3	1	0.82890	136.653	
5.7						
8	4	2	0	0.80790	144.902	
5.4						

Stick Pattern



3. Name and formula

Reference code:	01-078-2076
Mineral name:	Cuprite, syn
Compound name:	Copper Oxide
Common name:	copper(I) oxide
Empirical formula:	Cu_2O
Chemical formula:	Cu_2O

Crystallographic parameters

Crystal system:	Cubic
Space group:	Pn-3m
Space group number:	224
a (Å):	4.2670
b (Å):	4.2670
c (Å):	4.2670

Alpha (°):	90.0000
Beta (°):	90.0000
Gamma (°):	90.0000
Volume of cell (10 ⁶ pm ³):	77.69
Z:	2.00
RIR:	8.58

Status, subfiles and quality

Status:	Diffraction data collected at non ambient temperature Alternate Pattern
Subfiles:	Alloy, metal or intermetallic Battery Common Phase Forensic ICSD Pattern Inorganic Mineral Superconducting Material
Quality:	Star (S)

Comments

ANX:	A2X
Creation Date:	11/20/2008
Modification Date:	1/19/2011
ANX:	A2X
Analysis:	Cu2 O1
Formula from original source:	Cu2 O
ICSD Collection Code:	63281
Calculated Pattern Original Remarks:	Anharmonic temperature factors have been deposited with the British Library Lending Division, SUP. No. 42674
Temperature of Data Collection:	100 K
Wyckoff Sequence:	b a(PN3-MZ)
Unit Cell Data Source:	Single Crystal.

References

Primary reference:

*Calculated from ICSD using
POWD-12+ +, (2004)*

Structure:

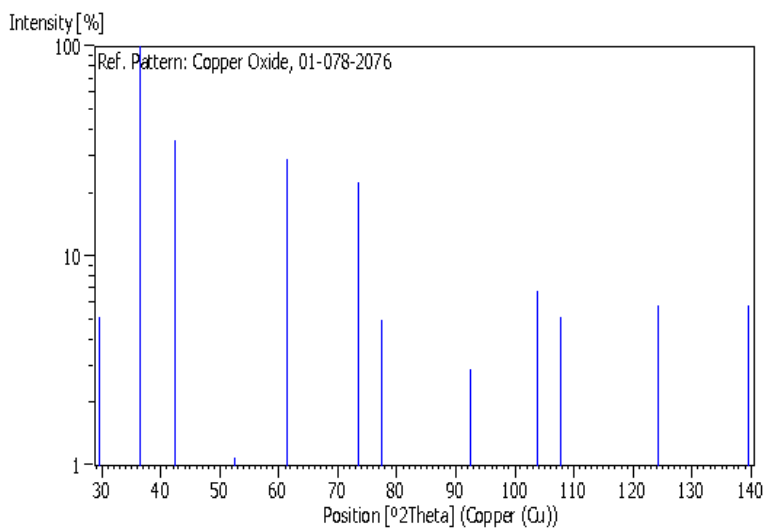
Restori, R., Schwarzenbach, D.,
*Acta Crystallogr., Sec. B: Struct.
Sci.*, **42**, 201, (1986)

Peak list

No.	h	k	l	d [Å]	2Theta[deg]	I
[%]						
1	1	1	0	3.01720	29.583	
5.1						
2	1	1	1	2.46360	36.441	
100.0						
3	2	0	0	2.13350	42.329	
35.6						
4	2	1	1	1.74200	52.488	
1.1						
5	2	2	0	1.50860	61.408	
28.9						
6	2	2	1	1.42230	65.584	
0.1						
7	3	1	0	1.34930	69.624	
0.3						
8	3	1	1	1.28660	73.555	
22.5						
9	2	2	2	1.23180	77.415	
5.0						
10	3	2	1	1.14040	84.980	
0.3						
11	4	0	0	1.06680	92.451	
2.9						
12	3	2	2	1.03490	96.202	
0.1						
13	4	1	1	1.00570	99.980	
0.1						
14	3	3	1	0.97890	103.794	
6.8						

15	4	2	0	0.95410	107.677
5.1					
16	4	2	1	0.93110	111.645
0.1					
17	3	3	2	0.90970	115.723
0.1					
18	4	2	2	0.87100	124.352
5.8					
19	5	1	0	0.83680	134.008
0.1					
20	5	1	1	0.82120	139.442
5.8					

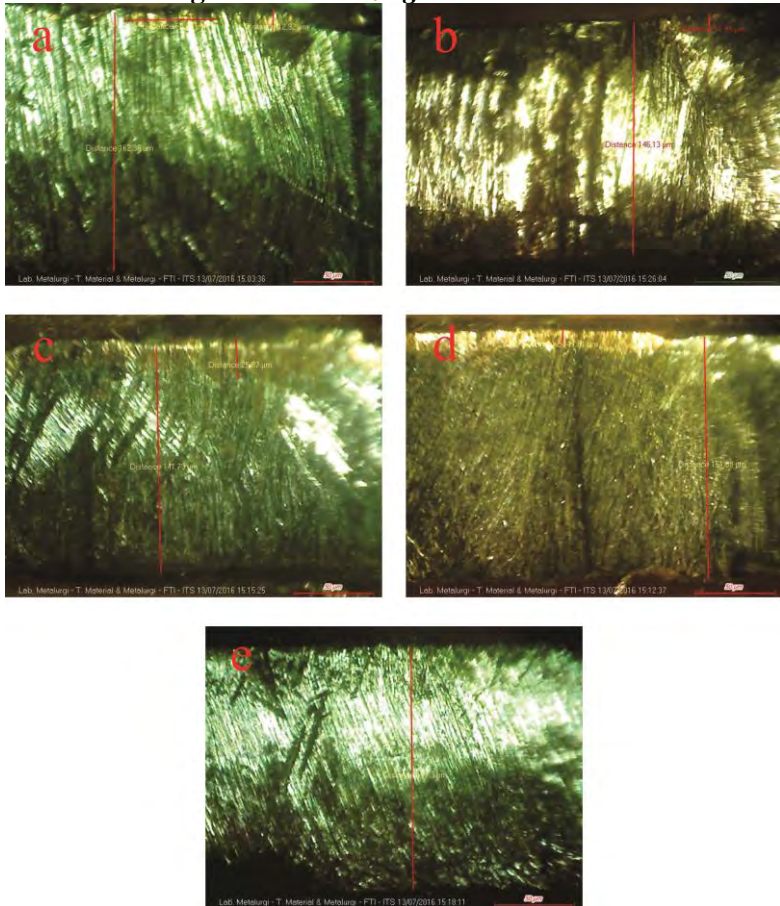
Stick Pattern



LAMPIRAN 4

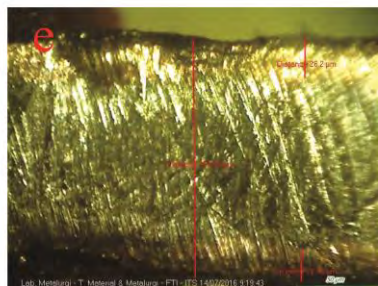
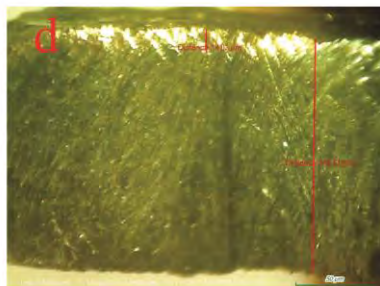
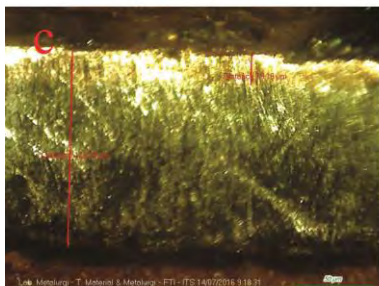
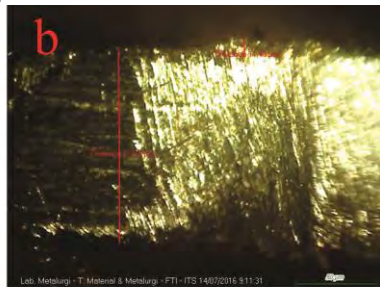
Gambar Crossection Spesimen XRD

1. Spesimen Baja AISI 1006 *copperizing* Variasi Pendinginan *Normalizing*

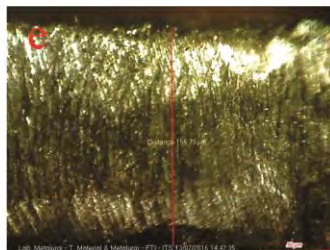
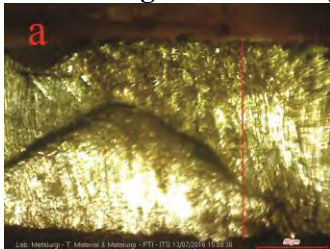


- a) Baja AISI 1006 *Copperizing* Pendinginan *Normalizing*
- b) Baja AISI 1006 *Copperizing* *Post-Heat* 5 menit *Normalizing*

- c) Baja AISI 1006 *Copperizing Post-Heat 10 menit Normalizing*
 - d) Baja AISI 1006 *Copperizing Post-Heat 15 menit Normalizing*
 - e) Baja AISI 1006 *Copperizing Post-Heat 20 menit Normalizing*
- 2. Spesimen Baja AISI 1006 *copperizing Variasi Pendinginan Quenching***



- a) Baja AISI 1006 *Copperizing Pendinginan Quenching*
 - b) Baja AISI 1006 *Copperizing Post-Heat 5 menit Quenching*
 - c) Baja AISI 1006 *Copperizing Post-Heat 10 menit Quenching*
 - d) Baja AISI 1006 *Copperizing Post-Heat 15 menit Quenching*
 - e) Baja AISI 1006 *Copperizing Post-Heat 20 menit Quenching*
- 3. Spesimen Baja AISI 1006 copperizing Variasi Pendinginan Annealing**



- a) Baja AISI 1006 *Copperizing Pendinginan Annealing*
- b) Baja AISI 1006 *Copperizing Post-Heat 5 menit Annealing*
- c) Baja AISI 1006 *Copperizing Post-Heat 10 menit Annealing*
- d) Baja AISI 1006 *Copperizing Post-Heat 15 menit Annealing*
- e) Baja AISI 1006 *Copperizing Post-Heat 20 menit Annealing*

Lampiran 5

Perhitungan Ukuran Butir Rata-rata

L = 500 mm

M = 500x

Keterangan:

P_i = Jumlah perpotongan batas butir dengan tiga lingkaran

M = Perbesaran gambar

L = Keliling tiga lingkaran

- Menghitung P_L

$$P_L = \frac{P_i \times M}{L}$$

- Menghitung ℓ

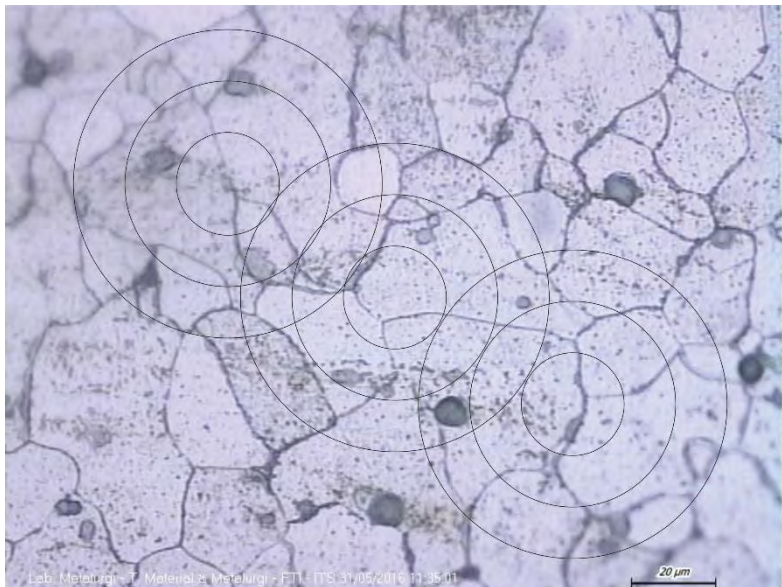
$$\ell = \frac{1}{P_L}$$

- Menentukan Nilai ASTM *Grain Size* (G)

$$G = \{-6,643856 (\log_{10} \ell) - 3,288\}$$

- Menghitung diameter rata-rata dengan interpolasi (referensi pada Tabel 11)

1. Baja AISI 1006 Pendinginan *Normalizing*

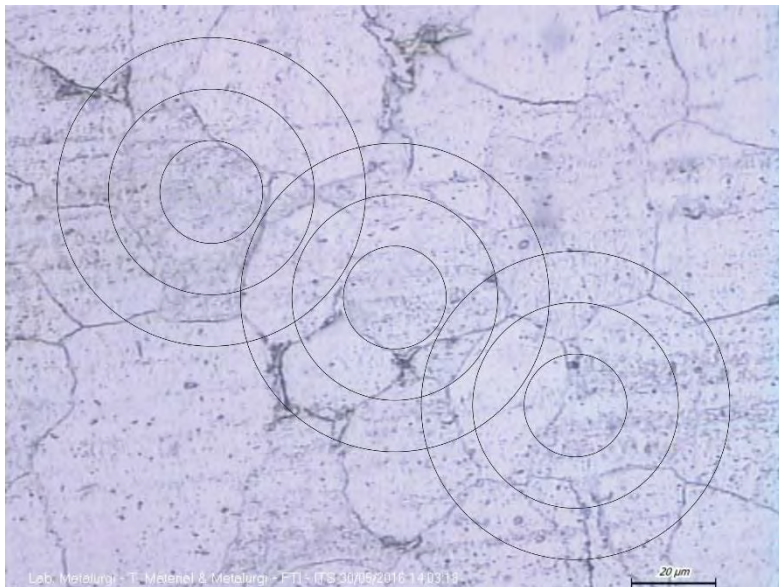


Gambar 1 Struktur Mikro Baja AISI 1006 Pendinginan *Normalizing* Perbesaran 500x

Tabel 1 Perhitungan *Grain Size* Baja AISI 1006 Pendinginan *Normalizing*

Titik potong	Titik Temu	P	PL	I	G	G RATA	d (mikron)
24	1	25.5	25.500	0.039216	9.347444	9.183291	14.94688
18	5	25.5	25.500	0.039216	9.347444		
20	1	21.5	21.500	0.046512	8.854986		

2. Baja AISI 1006 Pendinginan *Annealing*

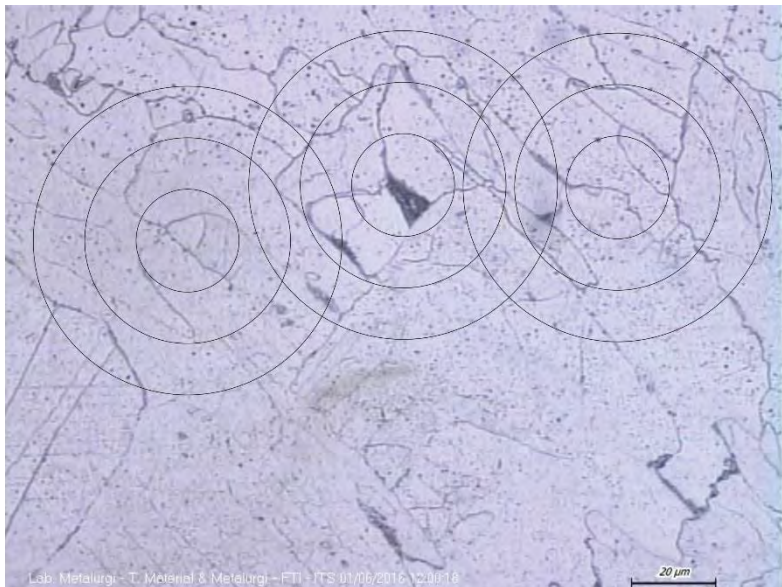


Gambar 3 Struktur Mikro Baja AISI 1006 Pendinginan *Annealing* Perbesaran 500x

Tabel 3 Perhitungan *Grain Size* Baja AISI 1006 Pendinginan *Annealing*

Titik potong	Titik Temu	P	PL	I	G	G RATA	d (mikron)
21	2	24	24.000	0.041667	9.17247	8.590302	18.30402
17	1	18.5	18.500	0.054054	8.421243		
17	0	17	17.000	0.058824	8.177194		

3. Baja AISI 1006 *Copperizing Pendinginan Normalizing*



Gambar 4 Struktur Mikro Spesimen Baja AISI 1006
Copperizing Pendinginan Normalizing Perbesaran 500x

Tabel 4 Perhitungan *Grain Size* Baja AISI 1006 *Copperizing Pendinginan Normalizing*

Titik potong	Titik Temu	P	PL	I	G	G RATA	d (mikron)
35	0	35	35.000	0.028571	10.26141	9.931362	11.48828
27	1	28.5	28.500	0.035088	9.668462		
29	1	30.5	30.500	0.032787	9.864211		

4. Baja AISI 1006 *Copperizing Post-Heat 5 menit Pendinginan Normalizing*

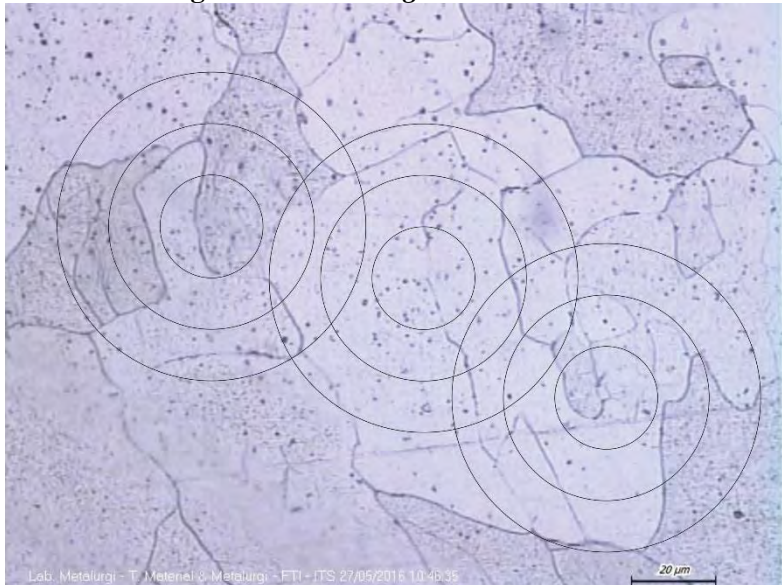


Gambar 5 Struktur Mikro Spesimen Baja AISI 1006
Copperizing Post-Heat 5 menit Pendinginan Normalizing
Perbesaran 500x

Tabel 5 Perhitungan *Grain Size* Baja AISI 1006 *Copperizing Post-Heat 5 menit Pendinginan Normalizing*

Titik potong	Titik Temu	P	PL	I	G	G RATA	d (mikron)
20	0	20	20.000	0.05	8.646255	8.272567	20.50152
14	1	15.5	15.500	0.064516	7.910587		
16	1	17.5	17.500	0.057143	8.260858		

5. Baja AISI 1006 *Copperizing Post-Heat 10 menit* Pendinginan *Normalizing*



Gambar 6 Struktur Mikro Baja AISI 1006 *Copperizing Post-Heat 10 menit* Pendinginan *Normalizing* Perbesaran 500x

Tabel 6 Perhitungan *Grain Size* Baja AISI 1006 *Copperizing Post-Heat 10 menit* Pendinginan *Normalizing*

Titik potong	Titik Temu	P	PL	I	G	G RATA	d (mikron)
13	1	14.5	14.500	0.068966	7.718103	8.227457	20.86231
17	0	17	17.000	0.058824	8.177194		
18	2	21	21.000	0.047619	8.787073		

6. Baja AISI 1006 *Copperizing Post-Heat 15 menit Pendinginan Normalizing*

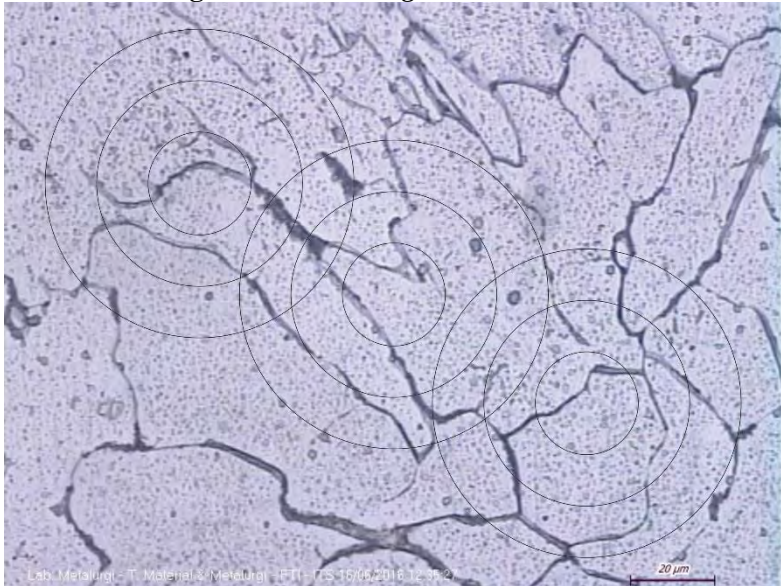


Gambar 7 Struktur Mikro Spesimen Baja AISI 1006
Copperizing Post-Heat 15 menit Pendinginan Normalizing
Perbesaran 500x

Tabel 7 Perhitungan *Grain Size* Baja AISI 1006 *Copperizing Post-Heat 15 menit Pendinginan Normalizing*

Titik potong	Titik Temu	P	PL	I	G	G RATA	d (mikron)
12	1	13.5	13.500	0.074074	7.511859	8.218776	20.92400
13	4	19	19.000	0.052632	8.498213		
20	0	20	20.000	0.05	8.646255		

**7. Baja AISI 1006 *Copperizing Post-Heat* 20 menit
Pendinginan *Normalizing***

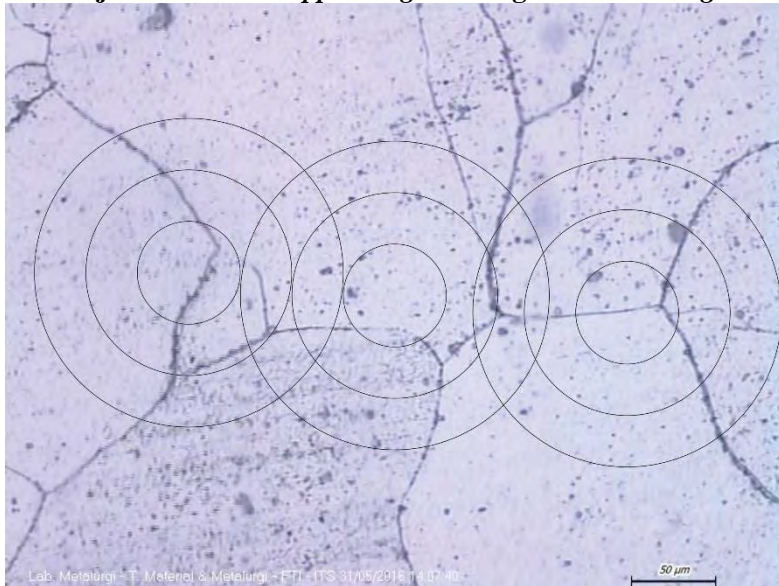


Gambar 8 Struktur Mikro Spesimen Baja AISI 1006
Copperizing Post-Heat 20 menit Pendinginan *Normalizing*
Perbesaran 500x

Tabel 8 Perhitungan *Grain Size* Baja AISI 1006 *Copperizing Post-Heat* 20 menit Pendinginan *Normalizing*

Titik potong	Titik Temu	P	PL	I	G	G RATA	d (mikron)
14	1	15.5	15.500	0.064516	7.910587	8.030001	22.28400
16	0	16	16.000	0.0625	8.00222		
14	2	17	17.000	0.058824	8.177194		

8. Baja AISI 1006 *Copperizing Pendinginan Annealing*

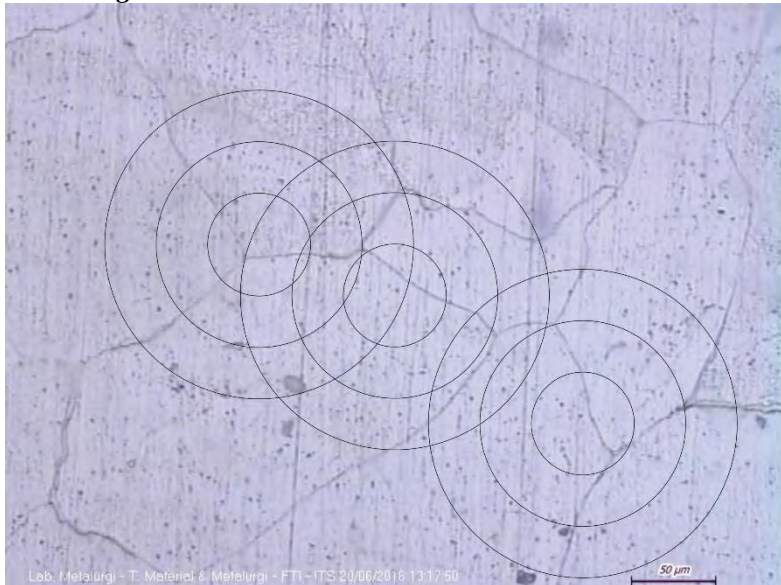


Gambar 9 Struktur Mikro Spesimen Baja AISI 1006 *Copperizing Pendinginan Annealing* Perbesaran 500x

Tabel 9 Perhitungan *Grain Size* Baja AISI 1006 *Copperizing Pendinginan Annealing*

Titik potong	Titik Temu	P	PL	I	G	G RATA	d (mikron)
7	2	10	10.000	0.1	6.6457	6.78016	34.43808
10	1	11.5	11.500	0.086957	7.04908		
10	0	10	10.000	0.1	6.6457		

Baja AISI 1006 *Copperizing Post-Heat 5 menit Pendinginan Annealing*

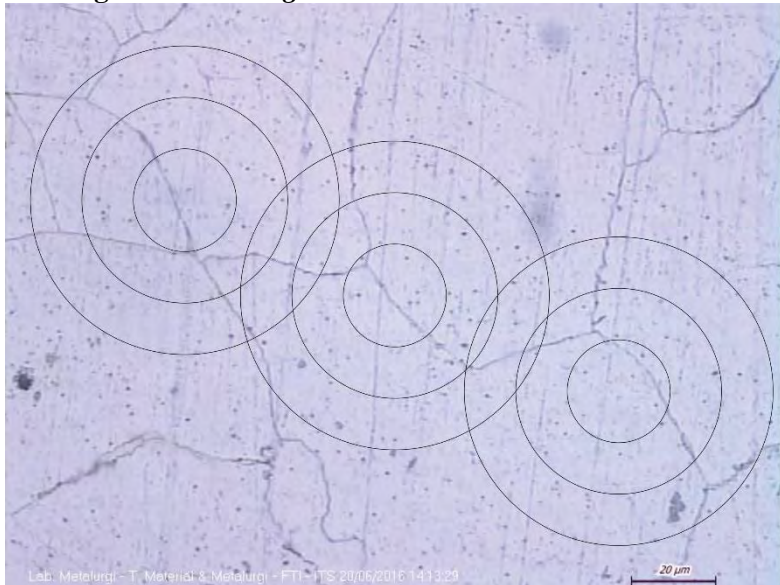


Gambar 10 Struktur Mikro Spesimen Baja AISI 1006
Copperizing Post-Heat 5 menit Pendinginan Annealing
Perbesaran 500x

Tabel 10 Perhitungan *Grain Size* Baja AISI 1006 *Copperizing Post-Heat 5 menit Pendinginan Annealing*

Titik potong	Titik Temu	P	PL	I	G	G RATA	d (mikron)
8	2	11	11.000	0.090909	6.920783	7.165211	30.11488
10	2	13	13.000	0.076923	7.402933		
9	2	12	12.000	0.083333	7.171915		

9. Baja AISI 1006 *Copperizing Post-Heat 10 menit Pendinginan Annealing*

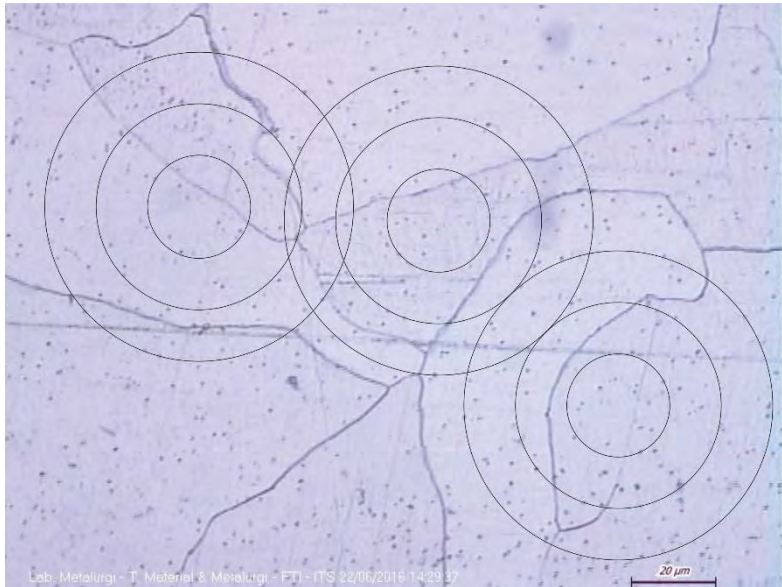


Gambar 11 Struktur Mikro Spesimen Baja AISI 1006
Copperizing Post-Heat 10 menit Pendinginan Annealing
Perbesaran 500x

Tabel 11 Perhitungan *Grain Size* Baja AISI 1006 Copperizing
Post-Heat 10 menit Pendinginan Annealing

Titik potong	Titik Temu	P	PL	I	G	G RATA	d (mikron)
10	1	11.5	11.500	0.086957	7.04908	6.577433	36.87080
9	0	9	9.000	0.111111	6.341609		
9	0	9	9.000	0.111111	6.341609		

**10. Baja AISI 1006 *Copperizing Post-Heat 15 menit*
Pendinginan *Annealing***



Gambar 12 Struktur Mikro Spesimen AISI 1006 *Copperizing Post-Heat 15 menit Pendinginan Annealing* Perbesaran 500x

Tabel 12 Perhitungan *Grain Size* Baja AISI 1006 *Copperizing Post-Heat 15 menit Pendinginan Annealing*

Titik potong	Titik Temu	P	PL	I	G	G RATA	d (mikron)
10	1	11.5	11.500	0.086957	7.04908	6.571476	37.62288
10	1	11.5	11.500	0.086957	7.04908		
7	0	7	7.000	0.142857	5.616268		

11. Baja AISI 1006 *Copperizing Post-Heat* 20 menit Pendinginan *Annealing*



Gambar 10 Struktur Mikro Spesimen Baja AISI 1006 *Copperizing Post-Heat* 5 menit Pendinginan *Annealing* Perbesaran 500x

Tabel 13 Perhitungan *Grain Size* Baja AISI 1006 *Copperizing Post-Heat* 20 menit Pendinginan *Annealing*

Titik potong	Titik Temu	P	PL	I	G	G RATA	d (mikron)
8	0	8	8.00 0	0.125	6.001 665	6.557 079	37.115 05
8	1	9. 5	9.50 0	0.105 263	6.497 658		
12	0	1 2	12.0 00	0.083 333	7.171 915		

Tabel 11 Hubungan Ukuran Butir (ASTM E112)

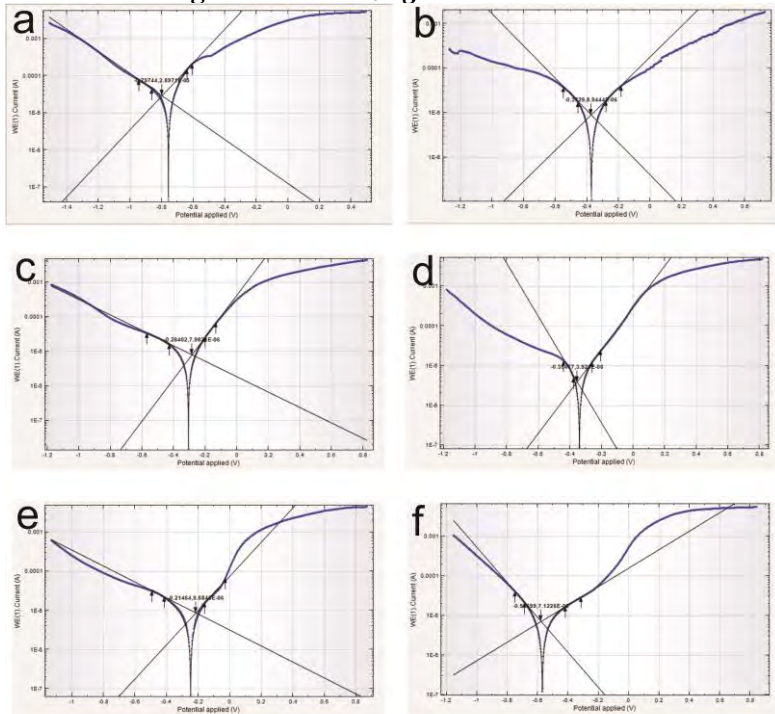
TABLE 4 Grain Size Relationships Computed for Uniform, Randomly Oriented, Equiaxed Grains

Grain Size No. G	\bar{N}_A Grains/Unit Area		\bar{A} Average Grain Area		\bar{d} Average Diameter		\bar{r} Mean Intercept		\bar{N}_L
	No./in. ² at 100X	No./mm ² at 1X	mm ²	μm^2	mm	μm	mm	μm	
00	0.25	3.88	0.2581	258064	0.5080	508.0	0.4525	452.5	2.21
0	0.50	7.75	0.1290	129032	0.3592	359.2	0.3200	320.0	3.12
0.5	0.71	10.96	0.0912	91239	0.3021	302.1	0.2691	269.1	3.72
1.0	1.00	15.50	0.0645	64516	0.2540	254.0	0.2263	226.3	4.42
1.5	1.41	21.92	0.0456	45620	0.2136	213.6	0.1903	190.3	5.26
2.0	2.00	31.00	0.0323	32258	0.1796	179.6	0.1600	160.0	6.25
2.5	2.83	43.84	0.0228	22810	0.1510	151.0	0.1345	134.5	7.43
3.0	4.00	62.00	0.0161	16129	0.1270	127.0	0.1131	113.1	8.84
3.5	5.66	87.68	0.0114	11405	0.1068	106.8	0.0951	95.1	10.51
4.0	8.00	124.00	0.00806	8065	0.0898	89.8	0.0800	80.0	12.50
4.5	11.31	175.36	0.00570	5703	0.0755	75.5	0.0673	67.3	14.87
5.0	16.00	248.00	0.00403	4032	0.0635	63.5	0.0566	56.6	17.68
5.5	22.63	350.73	0.00285	2851	0.0534	53.4	0.0476	47.6	21.02
6.0	32.00	496.00	0.00202	2016	0.0449	44.9	0.0400	40.0	25.00
6.5	45.25	701.45	0.00143	1426	0.0378	37.8	0.0336	33.6	29.73
7.0	64.00	992.00	0.00101	1008	0.0318	31.8	0.0283	28.3	35.36
7.5	90.51	1402.9	0.00071	713	0.0267	26.7	0.0238	23.8	42.04
8.0	128.00	1984.0	0.00050	504	0.0225	22.5	0.0200	20.0	50.00
8.5	181.02	2805.8	0.00036	356	0.0189	18.9	0.0168	16.8	59.46
9.0	256.00	3968.0	0.00025	252	0.0159	15.9	0.0141	14.1	70.71
9.5	362.04	5611.6	0.00018	178	0.0133	13.3	0.0119	11.9	84.09
10.0	512.00	7936.0	0.00013	126	0.0112	11.2	0.0100	10.0	100.0
10.5	724.08	11233.2	0.000089	89.1	0.0094	9.4	0.0084	8.4	118.9
11.0	1024.00	15872.0	0.000063	63.0	0.0079	7.9	0.0071	7.1	141.4
11.5	1448.15	22446.4	0.000045	44.6	0.0067	6.7	0.0060	5.9	168.2
12.0	2048.00	31744.1	0.000032	31.5	0.0056	5.6	0.0050	5.0	200.0
12.5	2896.31	44892.9	0.000022	22.3	0.0047	4.7	0.0042	4.2	237.8
13.0	4096.00	63488.1	0.000016	15.8	0.0040	4.0	0.0035	3.5	282.8
13.5	5792.62	89785.8	0.000011	11.1	0.0033	3.3	0.0030	3.0	336.4
14.0	8192.00	126976.3	0.000008	7.9	0.0028	2.8	0.0025	2.5	400.0

LAMPIRAN 6

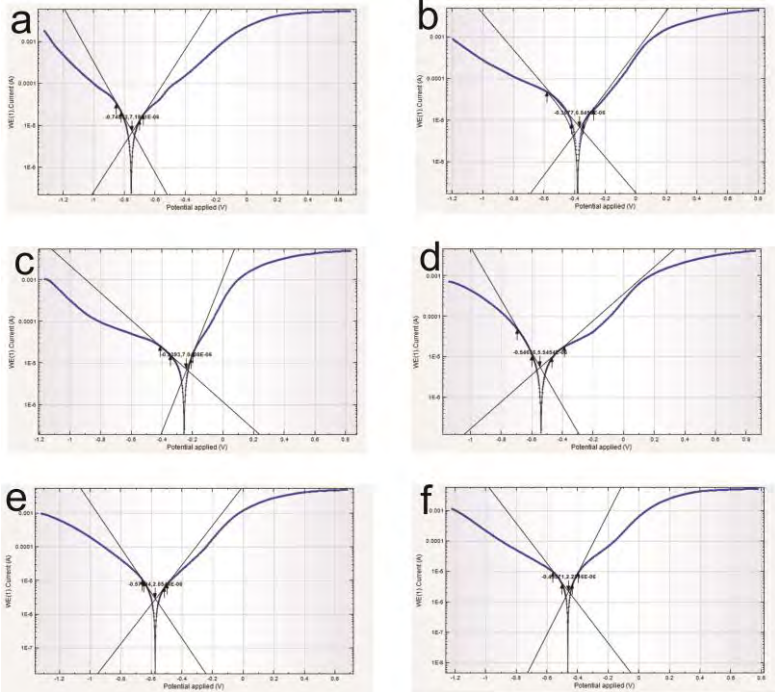
Hasil Polarisasi

1. Spesimen Baja AISI 1006 *copperizing* Variasi Pendinginan *Normalizing*



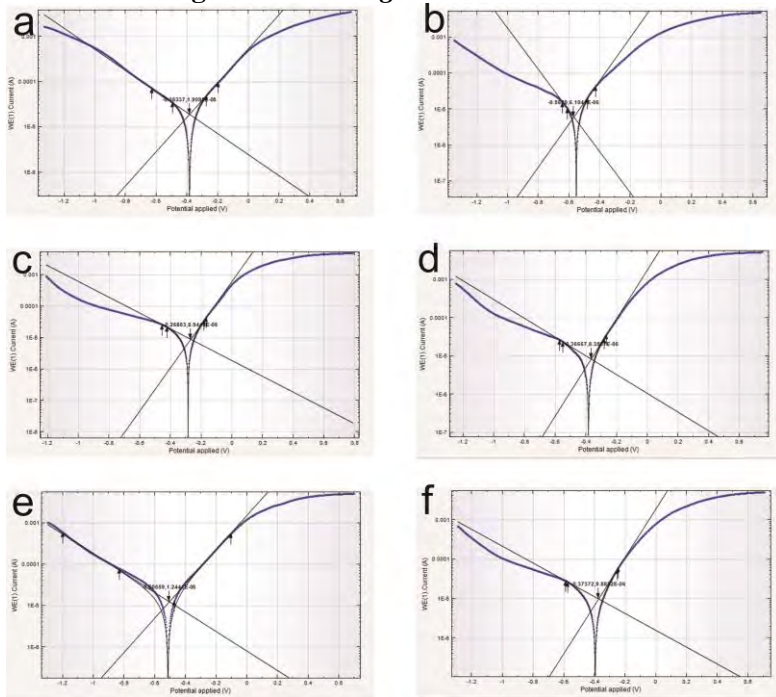
- Baja AISI 1006 pendinginan Annealing
- Baja AISI 1006 Copperizing Pendinginan Annealing
- Baja AISI 1006 Copperizing Post-Heat 5 menit Annealing
- Baja AISI 1006 Copperizing Post-Heat 10 menit Annealing
- Baja AISI 1006 Copperizing Post-Heat 15 menit Annealing
- Baja AISI 1006 Copperizing Post-Heat 20 menit Annealing

2. Spesimen Baja AISI 1006 *copperizing* Variasi Pendinginan *Quenching*



- Baja AISI 1006 pendinginan *Quenching*
- Baja AISI 1006 *Copperizing* Pendinginan *Quenching*
- Baja AISI 1006 *Copperizing* Post-Heat 5 menit *Quenching*
- Baja AISI 1006 *Copperizing* Post-Heat 10 menit *Quenching*
- Baja AISI 1006 *Copperizing* Post-Heat 15 menit *Quenching*
- Baja AISI 1006 *Copperizing* Post-Heat 20 menit *Quenching*

3. Spesimen Baja AISI 1006 *copperizing* Variasi Pendinginan *Annealing*



- Baja AISI 1006 pendinginan *Annealing*
- Baja AISI 1006 *Copperizing* Pendinginan *Annealing*
- Baja AISI 1006 *Copperizing* Post-Heat 5 menit *Annealing*
- Baja AISI 1006 *Copperizing* Post-Heat 10 menit *Annealing*
- Baja AISI 1006 *Copperizing* Post-Heat 15 menit *Annealing*
- Baja AISI 1006 *Copperizing* Post-Heat 20 menit *Annealing*

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan dari hasil analisis data dan pengujian yang dilakukan dalam penelitian ini dapat disimpulkan bahwa:

- Pengaruh *post-heat* dan *cooling rate* terhadap mekanisme difusi struktur mikro tembaga pada baja AISI 1006 melalui proses *copperizing* adalah muncul nya struktur *acicular ferrite*, *Widmanstatten Ferrite*, dan *Granular Ferrite* pada pendinginan *Quenching*, muncul *Widmanstatten Ferrite* dan *Polygonal Ferrite* pada pendinginan *Normalizing*, dan muncul *Polygonal Ferrite* pada pendinginan *Annealing*. Dimana Proses *copperizing* menurunkan diameter butir dan *post-heat* menambah diameter butir.
- Pengaruh *post-heat* dan *cooling rate* terhadap sifat ketahanan korosi yang terjadi pada baja AISI 1006 melalui proses *copperizing* adalah penurunan nilai *Corrosion rate* untuk baja AISI 1006, penambahan waktu *post-heat* semakin menurunkan nilai *corrosion rate*, dengan nilai *corrosion rate* rendah 6.489 mpy pada Baja AISI 1006 *copperizing* dengan *post-heat* 20 menit pendinginan *quenching*.

5.2 Saran

Untuk melakukan penelitian selanjutnya terkait metode *copperizing*, hal-hal yang perlu diperhatikan adalah:

- Waktu pengambilan spesimen tidak boleh terlalu lama karena hal tersebut dapat menambah kemungkinan terbentuknya oksida Cu.
- *Crucible* perlu dilakukan *pre-heat* sebelum dimulai proses peleburan.
- Pendinginan sisa tembaga tidak boleh berada dalam *crucible*, tembaga cair harus dituangkan kedalam wadah lain



-
- Massa tembaga harus diperkirakan dengan benar untuk mencegah tembaga tumpah.
 - Perlu adanya pengujian korosi pembanding untuk memvalidkan data

DAFTAR PUSTAKA

- _____. 1992. **ASM Handbook Vol 15 9th Edition Metals Handbook : Casting** . Ohio: ASM International.
- _____. 2009. **ASM International : Casting Design and Performance** . Ohio: ASM International.
- _____. 1990. **ASM Metals Handbook Vol 1 10th Edition: Properties and Selection Irons, Steels, and High Performance Alloys**. Ohio: ASM International.
- _____. 1992. **ASM Metals Handbook Vol 2 10th Edition: Properties and Selection Non-Ferrous Alloys and Special Purpose Mate**. Ohio: ASM International.
- _____. - 2004. **ASM Metal Handbook Vol 9 : Metallography**
- _____. - 2000. **ASM International : Corrosion Understand the Basics**. Ohio: ASM International
- _____. - 2001. **ASM International : Alloying Understanding the Basics**. Ohio: ASM International
- _____. -2003. **ASTM A830/830M “Plates, Carbon Steel, Structur Quality, Furnished to Chemical Composition Requirements”**. ASTM International
- _____. -1996. **ASTM E112-96 “Determining Average Grain Size”**. ASTM International
- Morcillo, M. 2013. **Atmospheric Corrosion Data of Weathering Steels**. Madrid Spain: National Center for Metallurgical Reasearch.
- Callister, William D., dan David G. Rethwisch. 2000. **Material Science and Engineering and Introduction**. New York: John Wiley & Sons, Inc.
- Wook Jang, Young. 2009. **Effects of Copper on The Corrosion Propertiees of Low-Alloy Steel in an Acid-Chloride Environment**. Korea. Department of Advanced Maerials Engineering Sungkyunkwan University.
- Ishida, T. 1986 .**The Interaction of Molten Copper with Solid Iron**. Japan, Department of Metallurgical Chemistry Tohoku University.

- Wang, C.P. 2004. **Thermodynamic Database of the Phase Diagrams in Cu-Fe Base Ternary Systems**. Japan. Department of Materials Science and Engineering Xiangmen University.
- Takaki, Setuo, dkk. 2004. **Effect of Copper on Tensile Properties and Grain-Refinement of Steel and its Relation to Precipitation Behaviour**. Materials Transactions 45, 7: 2239-2244.
- Higgins, Raymond A. 1993. **Engineering Metallurgy Part 1 Applied Physical Metallurgy Sixth Edition**. Britain: Arrowsmith Ltd.
- Suryanarayana, C. 2004. **Mechanical Alloying and Milling**. New York : Marcel Dekker.
- Sherif El-Eskandarany, M. 2001. **Mechanical Alloying for Fabrication of Advanced Engineering Materials**. Cairo, William Andrew Publishing.
- Smallman, R.E, dan Bishop R.J.,1999.**Modern Physical Metallurgy and Materials Engineering**. United Kingdom, Oxford.
- Cahn, Robert W., dan Haasen, Peter. 1996. **Physical Metallurgy**. Netherland: North Holland.
- Seob Lee, Jun., 2008. **Effect of Copper Addition on The Act4e Corrosion Behavior of Hyper Duplex Stainless Steels in Sulfuri Acid**. Korea : Yonsei University.
- Konecna, Radomila. dan Fintova Stanislava. 2006. **Copper and Copper Alloys : Casting, Classificaton and Characteristic Microstructures**. Slovak Republik, University of Zilina
- Guedes,I.C., 2006. **The influence of Copper and Chromium on the Semiconducting behaviour of pass4e films formed on weathering steels**, Brasil, Escola Politecnica da USP.
- Butrymowicz, Daniel B. 1976. **Diffusion in Copper and Copper Alloys**, Washington, D.C. Metallurgy Divsion, Institute for Materials research, national Bureau of Standards

- Hough, R.R. 1971. **Diffusion in Iron During High Temperature Tansile Creep**, United Kingdom : University of Manchester Institute of Science and Technology.
- Trethewey, K.R. 1991. **Korosi Untuk Mahasiswa Sains dan Rekayasa**, Jakarta : PT. Gramedia.
- Fontan, Mars G. 1986. **Corrosion Engineering International Edition**.Singapore. Mc-Graw-Hill
- Ahmad, Zaki. 2006. **Principles of Corrosion Engineering and Corrosion Control, 1st Edition**. Butterworth-Heinemann
- Cunika, Aprida U. 2016. **Effects of short immersing times and cooling rates of copperizing process on the evolution microstructure and copper behavior in dead mild steel**, Surabaya. Institut Teknologi Sepuluh Nopember
- Vicky, Widia A. 2016. **Effects of solution treatment and aging temperature on microstructure and hardness of copperized-aisi 1006**, Surabaya. Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Indri, Astuti. 2008. **Studi Pengaruh Kadar Kromium Terhadap Kekerasan Lapisan Hasil *Hot dip Galvanizing* pada Baja dari Spons Bijih Besi Laterit**. Jakarta. Fakultas Teknik Universitas Indonesia.
- Sulistijono. 1999. **Diktat Kuliah Korosi**. Surabaya : ITS
- Suherman, Wahid. 2003. **Ilmu Logam I**. Surabaya: ITS.
- Suherman, Wahid. 1999. **Ilmu Logam II**. Surabaya: ITS.
- Suherman, Wahid. 2001. **Perlakuan Panas**. Surabaya: ITS.

(halaman ini sengaja dikosongkan)

BIODATA PENULIS



Iftitah Tatapangarsa

merupakan salah satu orang yang menulis laporan ini lahir pada tanggal 5 Mei 1993 di ujung Pulau Madura tepatnya di Kabupaten Bangkalan, lahir di keluarga sederhana dengan orang tua bekerja sebagai PNS dan ibu rumah tangga, menempuh pendidikan sekolah dasar di SDN Kemayoran 1 Bangkalan pada tahun 2000 semasa sd sempat menyabet prestasi dalam lomba ilmu sosial dan murid teladan, melanjutkan pendidikan yang lebih tinggi yaitu di SMPN 1 Bangkalan dan mendapatkan beasiswa masuk SMP ter-sebut pada tahun 2006 semasa SMP aktif dalam kegiatan OSIS dan mendapat amanah sebagai Sekretaris Umum OSIS SMPN 1 Bangkalan, karena rasa penasaran akan hal baru dan di dukung oleh kedua orang tua, penulis memilih untuk melanjutkan pendidikannya di Sekolah Menengah Atas di luar Pulau Madura tepatnya di SMA TARUNA NUSANTARA Magelang pada tahun 2009, setelah menamatkan SMA-nya

Penulis memilih melanjutkan pendidikannya ke jenjang yang lebih tinggi, ketertarikannya terhadap fisika, matematika dan logam, mengantarkannya pada jurusan Teknik Material dan Metalurgi di Kampus Institut Teknologi Sepuluh Nopember pada tahun 2012 hingga saat ini, memiliki sifat ingin tahu yang tinggi menjadikannya bergabung dalam beberapa organisasi kampus seperti Badan Eksekutif Mahasiswa ITS, Himpunan Mahasiswa Teknik Material dan Metalurgi serta sempat menjadi ketua penyelenggara dalam kongres mahasiswa teknik dan saint seluruh Indonesia yaitu Young Engineers & Scientists Summit 2014 di Surabaya.

Email : Iftitah.tata.pangarsa@gmail.com